

Eine kreislaufgerechte Architektur

Lebenszyklusbetrachtungen alternativer
Tragwerksentwürfe am Beispiel der ETA-Fabrik

vom Fachbereich Architektur
der Technischen Universität Darmstadt

zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften
(Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation
von Dipl.-Ing. Arch. Frank Lang
aus Darmstadt

1. Prüfer: Prof. Jo Eisele
2. Prüfer: Prof. Wolfgang Lorch

Tag der Einreichung: 03.10.2015

Tag der mündlichen Prüfung: 27.10.2015

Darmstadt 2016

D17

Zusammenfassung

Lange Zeit war die Frage nach der grauen Energie von Gebäuden nur ein Randthema in der Debatte um deren Nachhaltigkeit. Im Zentrum stand ihre energetische Performance, nicht aber die Frage, wie möglichst sparsam mit der in ihren Bauteilen gebundenen Energie umgegangen werden kann. In den letzten Jahren rückte die Frage nach der grauen Energie von Gebäuden zunehmend in den Mittelpunkt des Interesses. Hierfür gibt es drei Gründe.

1. Man kann die graue Energie eines Bauwerks mittlerweile relativ gut bemessen und somit auch beurteilen. Hierfür stehen Methoden und Datenbanken zur Verfügung, die selbst ein ungeübter Laie nutzen kann. Graue Energie wird zu einer sichtbaren Größe von Bauwerken.
2. In der Bautechnologie sind wesentliche Fortschritte gemacht worden. Das Verhältnis von operativer zu grauer Energie über den Lebenslauf eines Gebäudes betrachtet hat sich entscheidend verändert.
3. Gemeinsame klimapolitische Anstrengungen in Europa lassen hoffen, dass in Zukunft ein Großteil der Verbrauchsenergie von Gebäuden tatsächlich regenerativ gewonnen werden könnte.

Das ändert den Blick auf Energie. Plötzlich ist Energie nicht mehr gleich Energie. Mit regenerativ gewonnener Energie kann sorgloser umgegangen werden, als mit in Ressourcen gebundener Energie. Ein sorgsamer Umgang mit grauer Energie, erfordert ein Denken in Kreisläufen. In der Produktindustrie Gang und Gebe, ist dies eine durchaus ungewohnte Form, Architektur zu denken. Will man Architektur recyceln, muss man die Lebenszeit eines Bauwerks und damit auch sein Ende planen. So muss Architektur unter der Prämisse des Recyclens immer als Architektur auf Zeit verstanden werden. Will man das Denken in Kreisläufen auf die Architektur übertragen, so steht also das Verhältnis von Zeit und Architektur auf dem Prüfstein.

Den ersten Teil der Arbeit bildet daher ein Exkurs in die Architekturtheorie, der das besondere Verhältnis von Architektur und Zeit skizziert. Der zweite Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der praktischen Fragestellung, die sich hinter dem Begriff einer kreislaufgerechten Architektur verbirgt. Wie kann die Eigenschaft 'kreislaufgerecht' beschrieben und dargestellt werden? Welche Mittel und Methoden stehen hierfür zur Verfügung und mit welchen Entwurfsstrategien kann ich sie gestalten? Ziel ist es, die Grundlagen einer Lebenszyklusplanung, wie sie Architekten heute zur Verfügung steht zu erläutern. Dies wird exemplarisch am Entwurfsprozess eines konkreten Fallbeispiels untersucht.

Bei der ETA-Fabrik, welche hier als Untersuchungsgegenstand dient, handelt es sich um ein Forschungs- und Demonstrationsobjekt, das an der TU Darmstadt von Maschinenbauingenieuren gemeinsam mit Bauingenieuren und Architekten an der TU Darmstadt entwickelt und errichtet wurde. Das Kürzel ETA steht dabei für Energieeffizienz-, Technologie- und Anwendungszentrum. Eine industrielle Produktionsanlage soll unter Einbeziehung aller Teilsysteme, von den einzelnen Maschinen bis hin zur Gebäudehülle, analysiert und optimiert werden, indem die Synergieeffekte, die durch die Verknüpfung der Energiekreisläufe miteinander entstehen, ausgeschöpft werden. Für die Konzeption des Bauwerks waren zwei Grundüberlegungen ausschlaggebend:

1. Für die Verknüpfung von Gebäude und maschineller Prozesskette sollte eine an ihren Innen-, wie Aussenflächen thermisch-aktive Gebäudehülle entwickelt werden, die in der Lage ist, Wärme aus ihrer unmittelbaren Umgebung aufzunehmen, an ein Speichersystem zu übergeben und gegebenenfalls zu einem anderen Zeitpunkt wieder abzugeben.
2. Vor dem Hintergrund der im Durchschnitt relativ kurzen Standzeiten von In-

dustriebauten, sollten Tragwerk und Hülle als 'kreislaufgerechte' Konstruktion entwickelt werden. Dies bedeutete:

eine möglichst homogene Bauweise, sowie ein konsequent modularer Aufbau des Tragwerks.

Entwickelt wurde ein integratives Tragwerk, das aus großformatigen modularen Elementen aufgebaut ist, so dass sich die Halle schrittweise erweitern bzw. rückbauen lässt.

Der Wandaufbau wurde als eine Art Sandwichkonstruktion aus unterschiedlichen Betonwerkstoffen konzipiert.

In der vorliegenden Untersuchung wird zum einen evaluiert, inwiefern das zur Realisation gekommene Tragwerk der Forschungsfabrik tatsächlich als 'kreislaufgerecht' eingestuft werden kann. Zum anderen wird untersucht, welche Rückschlüsse allgemeiner Art für den Entwurf von 'kreislaufgerechter' Architektur gezogen werden können. In der Arbeit wird zudem eine graphische Methode entwickelt, wie mittels des Verhältnisses von verbrauchter (grauer) Energie je Zeiteinheit das Verhalten von Tragwerken und Bauwerken im Allgemeinen in ihren Stoff- und Energiekreisläufen dargestellt werden kann. Anhand dieser Methode werden die entwickelten Tragwerkssalternativen unter ausgewählten Lebenszyklusszenarien miteinander verglichen und bewertet.

Abstract

For quite a while the embodied energy of a building was only of marginal importance in the discussion about its sustainability. The focus was on its energetic performance not on the question of how to efficiently deal with the energy embodied in its structural components. But lately the aspect of embodied energy of buildings has increasingly become pivotal. Three reasons can be given for this fact.

1) Nowadays a relative accurate measurement of embodied energy can be provided so that its value can be judged. There are methods and data-files at hand that even the unexperienced can make use of. Embodied energy has become an accountable quality of buildings.

2) Essential progress has been made concerning the technology of construction. The proportional difference of operative and embodied energy in relation to the lifespan of a building has significantly changed.

3) Common European endeavours in climate policy will hopefully lead to a situation where a large part of the energy consumed by buildings might actually be provided by renewable energy. That would fundamentally change our understanding of energy. Energy would not just be energy.

Renewable energy could be made use of with much less reservations than energy bound in other resources. If we want to make embodied energy a responsibly calculated factor in our architectural work we have to include into our way of thinking the fact that each building is subject to a life cycle. This is a familiar mindset to anybody working in production-industry but it is a new way of contemplating architecture. If you want to recycle architecture you'll have to calculate the lifespan of a building and also its destruction. Architecture has thus to be understood as something restricted to a timeline. To put it more directly: if we start to talk about life-cycles in the realm of architecture we have to clarify the relation that exists between architecture and time.

The first part of this study therefore contains a survey on / a summary of some fundamental thoughts from the history of architectural theory that try to outline the

special relation between architecture and time. The second part deals with practical questions that go with an architecture anticipating a life-cycle-oriented architecture. How can we accurately define and communicate a life-cycle-oriented architecture. What means and methods are at hand for such a task and what design strategies could be used. The aim is to clarify the basic principles architects today can use when designing a building in a life-cycle-oriented way. This will then be exemplified by referring to the design process for a concrete building project.

The ETA-Factory that serves as model for our treatise was built for purposes of research and demonstration by mechanical engineers together with civil engineers and architects at the TU Darmstadt. The acronym ETA stands for "energy-efficiency", "technology" and "application-center". An industrial production line was to be analysed and energetically optimized, including all its different parts from its machinery up to the construction serving as its shell. Extensive use can thus be made of all the synergy effects that are generated by the combination of the different cycles of energy.

Two fundamental considerations were of crucial importance for the conceptual designing of the building. In order to link the building with the machinery of the production line a building shell had to be developed with a thermal active surface (both inside and outside) so that it would be able to collect thermal energy from its environment and deliver it to a storage system which could release it again at some later time. Given the fact that industrial buildings usually have a relatively short lifespan, the shell and the supporting structure of the building had to be built in a life-cycle-oriented way. This meant: a construction method that was as homogeneous as possible as well as a modular structural system. An integrative structural system was developed that consists of large-sized modular elements, so that the size of the factory workshop can be step by step enlarged or reduced. The wall itself is structured like a sandwich made of different layers of concrete.

The study at hand tries to evaluate in how far the structural system of the research-factory that was carried out can really be considered to be classified as life-cycle-oriented. Apart from that it tries to investigate what conclusions can generally be drawn from this experience for the design of life-cycle-oriented architecture. The study furthermore developed a graphical method to measure how buildings or structural systems perform within their material and energetic cycles by depicting how much embodied energy is being used per time-unit. Using this method the alternative designs for the structural system of the ETA factory are compared and evaluated considering different life-cycle-scenarios.

Teil Eins: Einleitung	9
Motivation	9
Forschungsfragen	10
Teil Zwei: Konzeption – Rezeption – architektonische Identität	13
Zeit als Teil der Konzeption von Architektur	14
Die Rolle der Zeit in der Rezeption von Architektur	17
Architektonische Identität im Wandel der Zeit	19
Teil Drei: Zeit – Material – Konstruktion	25
Grundlagen	26
Recycling	26
Ökobilanz	30
Das System Haus	34
Die ETA-Fabrik	40
Studie – Methodik und Untersuchungsrahmen	48
Überlegungen zu einer vergleichenden Lebenszyklusbetrachtung	51
Der Energie-Zeit Quotient	51
Recyclingstrategien	56
Der Gebäudelebenszyklus	60
Lebenszyklusszenarien	62
Das Haus auf Zeit	63
Das wiederverwendbare Haus	64
Das Haus auf Dauer	67
Fallstudien – Tragwerksalternativen	75
Fallbeispiel ETA	76
Fallstudie A	92
Fallstudie B	108
Auswertung der Ergebnisse	123
Teil Vier: Diskussion und Fazit	137
Diskussion	137
Fazit	138
Bibliographie	143
Wissenschaftlicher Werdegang	147
Anhang	149

Teil Eins: Einleitung

Motivation

Als graue Energie, bezeichnet man diejenige Energie, die in der Herstellung, Errichtung – und dem Rückbau von Bauwerken steckt – besser drückt dies noch die englische Bezeichnung: ‘embodied energy’ aus. Lange Zeit spielte dieser Begriff in der Debatte über Nachhaltigkeit im Bauen nur eine untergeordnete Rolle. Einen Wendepunkt in der öffentlichen Debatte über Nachhaltigkeit in der Architektur stellt der deutsche Biennale Beitrag von 2012 dar. Unter dem Titel ‘Ressource Architektur – Reduce, Reuse, Recycle’¹ hat das Team um Muck Petzet Strategien im Umgang mit Bestandsbauten kategorisiert und bewertet. Als beliebter Slogan, den ökologische Bewegungen seit den 80er Jahren nutzen, legt ‘Reduse, Reuse, Recycle’ eine Hierarchie in der Reihenfolge der unterschiedlichen Maßnahmen zur Abfallvermeidung fest, vom Energie-sparenden Umnutzen bis zum Energie- aufwendigeren Recyceln. In direkter Analogie haben die Ausstellungsmacher die Anwendung dieses Slogans als Strategie eines Nachhaltigen Bauens vorgeschlagen, insbesondere mit Hinblick auf den Umgang mit dem enormen, scheinbar unbrauchbar gewordenen Gebäudebestand der 60er und 70er Jahre. Die Bedeutung grauer Energie wurde in diesem Rahmen erstmals einer breiten Öffentlichkeit vermittelt.

Die Handlungsanweisung, die im Titel der Ausstellung steckt, wirft grundlegende architektonische Fragen auf: Was an Architektur oder wie viel Architektur benötige ich überhaupt? Was kann ich wiederverwenden? Was ist schon da, das ich umnutzen kann und wie kann ich das was ich baue, so bauen, dass ich es irgendwann einmal weiter verwerten kann? Alle diese Fragen drehen sich um den Wert von und den Umgang mit grauer Energie.

Hier spiegelt sich eine Schwerpunktverlagerung wieder, wie sie auch im Fachdiskurs der letzten Jahre zu beobachten ist. Nach langen Jahren, in denen der Fokus in erster Linie auf der Reduktion von Verbrauchsenergie lag (Energieeffizienz), erlebt die Frage nach der in Ressourcen gebundenen Energie (Ressourceneffizienz), also der grauen Energie, wieder eine Renaissance². Zum einen ist die technologische Weiterentwicklung im Bereich hochdämmender Baustoffe an ihre Grenzen gekommen. Immer mehr energetischer Aufwand muss für immer weniger tatsächlich verbesserte Dämmeigenschaften betrieben werden³. Zum anderen kann ein immer größerer Anteil der operativen Energie eines Gebäudes mittlerweile über regenerative Energiequellen bezogen werden, sei es über eigene Energiequellen (PV-Flächen etc) oder über das wachsende Angebot von Seiten der Netzanbieter. Und plötzlich ist Energie nicht mehr gleich Energie. Mit regenerativ gewonnener Energie kann sorgloser umgegangen wer-

1 Vgl. (Petzet 2012), sowie <http://reduce-reuse-recycle.de>

2 schon für Architekten wie Frei Otto oder Cedric Price war dies in den 60er Jahren ein wichtiges Thema

3 für eine klärende Beschreibung, in welchem Grad die Effektivität immer dickerer Dämmschichten abnimmt Vgl. (Knaack et al. 2011, S.11)

den, als mit in Ressourcen gebundener Energie. Diese beiden Einsichten verschieben den Fokus langsam von der operativen Energie eines Hauses hin zu seiner grauen, also der in den Baumaterialien gespeicherten Energie. Da letztere die wertvollere Energie verbraucht, muss mit ihr auch sorgfältiger umgegangen werden.

Strategien für den Umgang mit grauer Energie erfordern ein Denken in Kreisläufen, wie es ursprünglich schon mit dem Begriff Nachhaltigkeit verknüpft war.⁴ Was Muck Petzet mit seiner Ausstellung gelungen ist, war ein entsprechender, öffentlichkeitswirksamer Perspektivenwechsel. Den als wertlos erachteten und daher unsichtbaren Gebäudebestand der Nachkriegsjahre in Deutschland hat er zu 'wertvoll' umetikettiert und damit selber schon in einer besonderen Weise Recycling betrieben. Recycling verstanden als Kulturtechnik. Eine Kulturtechnik der Umwertung von Werten, deren Grundlage das Denken in zeitlichen Kreisläufen ist.

Dies ist eine durchaus ungewohnte Form, Architektur zu denken. Stellen wir uns Architektur vor, so haben wir doch meistens ein recht lineares Verhältnis von Zeit und Bauwerk vor Augen. Denken wir an Häuser (an Gebautes generell) haben wir erst einmal etwas im Sinn, das die Zeit übersteht. Wir rechnen nicht mit ihrem zeitlichen Ende, ja wir tendieren sogar dazu, ihre Zeitgebundenheit ganz zu leugnen⁵. Das Denken in Kreisläufen, wie es Recycling impliziert, bedeutet aber genau das: Will man Architektur recyceln, muss man die Lebenszeit eines Bauwerks und damit auch sein Ende planen. So muss man Architektur unter der Prämisse des Recyclens immer als Architektur auf Zeit verstehen. Oder anders gesagt: Will man das Denken in Kreisläufen auf die Architektur übertragen, so muss man das sich möglicherweise wandelnde Verhältnis von Zeit und Architektur unter die Lupe nehmen, um zu verstehen, welche Auswirkungen dies hat – für die Planung oder das Entwerfen von Architektur, wie für ihr Bedeutungsfeld.

Forschungsfragen

So ergeben sich folgende Forschungsfragen an eine 'kreislaufgerechte' Architektur:

1. Welche Bedeutung hat die Dauer des Lebenszyklus eines Bauwerks für seine architektonische Identität?

Zweifellos kommt der Architektur über ihre funktionale Bedeutung hinaus ein kultureller Wert zu und dieser hat sich, auch das ist unbezweifelt, in den Jahrhunderten der Architekturgeschichte gewandelt. Was wir heute unter Architektur verstehen ist etwas anderes, als was die Antike unter Architektur verstanden hat.

Ein Modell um den Wesenskern von Architektur über seine Wandlungen hinweg zu beschreiben hat Tom Schoper in seiner Arbeit 'Zur Identität von Architektur'⁶ vorgestellt. Er spricht von der Idee-von-Haus. Sie stellt den inneren Zusammenhang des architektonischen Werks dar. Sie entspricht einem „Modell des Erkennens [...], in

4 Vgl. https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/definitionen_1382.htm – Ursprung des Nachhaltigkeitsgedanken

5 so denken Architekten meistens ungern über die Fertigstellung eines Baus hinaus und nur mit Widerwillen an seinen zukünftigen Abriss bzw. Rückbau.

6 Vgl. (Schoper 2010)

dem das Ursein von Architektur beheimatet ist“⁷, dem ‘Identischen von Architektur’. Das ‘Identische von Architektur’ wird über das Beziehungsfeld von Begriff, Bild und Ding bestimmt. In Anlehnung an das platonische Höhlengleichnis, tritt uns dieses Identische aber nur in konkreten architektonischen Identitäten gegenüber. Die architektonische Identität selbst ist „das konkrete architektonische Werk in der jeweiligen Ausdeutung seiner Parameter [Begriff, Bild und Ding].“⁸ Es ist die architektonische Identität, die sich im Spannungsfeld von „Ansich“ und „Fürmich“ in der Geschichte wandelt⁹. In unserer postmodernen Zeit existieren parallele architektonische Identitäten. Der Begriff architektonische Identität erlaubt uns in diesem Kontext über die Bedeutung von Architektur zu sprechen, ohne in ideologische Fallstricke zu geraten.

Ein kurzer schlaglichtartiger Exkurs zum ambivalenten Verhältnis von Zeit und Architektur in der Architekturtheorie und -geschichte soll helfen, die Fragestellung nach einer ‘kreislaufgerechten’ Architektur in den größeren kulturellen Zusammenhang einzuordnen, in dem Architektur steht. Dieser Exkurs nimmt für sich nicht in Anspruch, die Geschichte des Verhältnisses von Architektur und Zeit vollständig zu erfassen. Dies wäre die Aufgabe einer eigenen wissenschaftlichen Arbeit. Er soll diese lediglich in groben Zügen skizzieren.

2. Wenn ‘kreislaufgerecht’ die Eigenschaft darstellt, die das Verhalten eines Bauwerks in einem Kreislauf von aufeinanderfolgenden Lebenszyklen bezeichnet, wie kann diese Eigenschaft dann beschrieben und dargestellt werden? Welche Mittel und Methoden stehen hierfür zur Verfügung und mit welchen Entwurfsstrategien kann ich sie gestalten?

Den Schwerpunkt der Arbeit bildet eine vergleichende Untersuchung zur Bewertung der Effizienz des Einsatzes grauer Energie in alternativen Tragwerksentwürfen. Am konkreten Beispiel eines realisierten Tragwerksentwurfs soll zum einen evaluiert werden, inwieweit der realisierte Entwurf den formulierten Anspruch an eine kreislaufgerechte Konstruktion erfüllt und zum anderen ein Vergleich mit alternativen Tragwerksentwürfen angestellt werden, die in unterschiedlichen Lebenszyklusszenarien miteinander verglichen werden. Dabei stellt sich die Frage, ob es aus der Perspektive des effizienten Einsatzes grauer Energie eine optimale Lösung gibt oder ob sich vergleichbare Lösungen anbieten?

Um beurteilen zu können, wie sich die Aufwendungen grauer Energie zu den Zykluslängen eines Kreislaufs verhalten, müssen die unterschiedlichen Input- und Outputströme über die einzelnen Lebenszyklusphasen eines Bauwerks erfasst werden. Hierfür stehen dem Architekten mittlerweile Methoden und Hilfsmittel zur Verfügung. Inwieweit diese dazu geeignet sind, die Kreislaufeigenschaften eines Bauwerks in der Entwurfsphase abzubilden, und aufzuzeigen, wo noch Wissenslücken existieren ist Ziel der Untersuchung.

7 *Ebenda* S.37

8 *Ebenda* S.37

9 *Schoper erläutert dies am Beispiel der unterschiedlichen Darstellungen der Urhütte: das Haus als Gefundenes oder das Haus als Erfundenes... Vgl. (Schoper 2010, S.62ff)*

Teil Zwei: Konzeption – Rezeption – architektonische Identität

„Nichts steht so lange, wie ein Provisorium.“ lautet ein geläufiges Wort. Und tatsächlich: es scheint, Gebautes schafft in gewisser Weise Tatsachen, die nicht mehr so leicht aus der Welt zu schaffen sind. Schauen wir uns um: die Liste an Provisorien, die selbstverständlicher Bestandteil unserer gebauten Umwelt geworden sind, ist lang. Angefangen mit den 20 Jahre alten Schulcontainern des Gymnasiums in der Nachbarschaft bis hin zum Eiffelturm in Paris. Alles Bauwerke, die mit einer begrenzten Lebenserwartung konzipiert wurden, sich einem Abbruch aber erfolgreich widersetzt haben. Warum ist es so schwierig das Lebensende von Architektur vorherzusagen? Es ist ihr ganz spezielles Verhältnis zur Zeit, welches die besondere Rolle von Architektur als Artefakt unserer materiellen Kultur kennzeichnet.

„Hinter jedem architektonischen Werk schlummert potentiell eine Pyramide, stehen vierzig Jahrhunderte Geschichte bereit,...“¹ In seinem Artikel ‘Grenzen der Architektur’, einer leicht polemisierenden Ausführung über den Palazzo Nuovo in Genua, beschreibt Maurizio Ferrari in einem an die Adresse der Architekten gerichteten Appell, zehn grundsätzliche Eigenschaften der Architektur. Die Tendenz von Architektur zu überdauern sei eine von ihnen. Ferrari bezeichnet sie als „Pyramidalität“ und für ihn ist sie ein unverrückbarer Grundsatz, dem sich Architektur notwendig zu stellen hat.

Die folgenden beiden Kapitel beschäftigen sich mit der Frage, wie der Wert, den wir Architektur beimessen, im Zusammenhang steht mit der Dauerhaftigkeit des architektonischen Artefakts. Tatsächlich, so die hier vertretene These, ist der besondere Zeitbezug von Architektur doppelt begründet. Zum einen ist er ein wesentlicher Teil der Ursprungsidee, der Konzeption von Architektur und zum anderen liegt er in der speziellen Form ihrer Rezeption begründet.

In seinem 1929 erschienenen Büchlein „Befreites Wohnen“ – einem reich bebilderten Pamphlet, das dazu dienen sollte, die Ideen der Modernen Architektur einem Laienpublikum näher zu bringen, vergleicht Siegfried Giedion die bisherige (vormoderne) Anschauung mit der veränderten (modernen) Anschauung von Architektur und stellt dem Ewigkeitswert eines Hauses seinen Gebrauchswert gegenüber². Es sei die Vorstellung vom Ewigkeitswert der Architektur, die den Menschen bis dato erdrückt und gefangen gehalten habe und der Ersatz durch den Begriff des Gebrauchs-

1 (Ferraris Herbst/Fall 2014, S.125)

2 Ersteren Wert betreffend schreibt er (den ökonomischen Aspekt betreffend): „Das Haus ist ein Ewigkeitswert. Will man Hypotheken darauf bekommen, so muß es als Kapitalanlage gleichsam für die Ewigkeit gebaut sein.[...]“, zum zweiten: „Das Haus ist ein Gebrauchswert. Es soll in absehbarer Zeit abgeschrieben und amortisiert werden.[...]“. Vgl.(Giedion and Huber 1985, S.7f)

werts, sei ein notwendiger Befreiungsschlag³. Das implizierte für Giedion, dass alles was dem Gebrauch zu Gute kam, auch auf die Zeit des Gebrauchs hin gedacht und konzipiert sein musste „Jeder Generation ihr Haus.“ zitiert er Sant’ Elia⁴, den italienischen Futuristen.

Es ist die Relation zur Zeit, die hier den Ausschlag gibt – für das einengende Wesen des einen, wie für das befreiende der anderen Anschauung. Ewigkeitswert und Gebrauchswert beschreiben zwei grundsätzliche und sich widersprechende Perspektiven, die nach wie vor beide in unserer Anschauung von Architektur zum Tragen kommen und unser ambivalentes Verhältnis zu ihr bestimmen. Im dritten Kapitel steht die Frage im Mittelpunkt, wie sich die Konzeption architektonischer Identität im Spannungsfeld zwischen Ewigkeitswert und Gebrauchswert über die Zeit gewandelt hat und mit ihr das Verhältnis von Architektur und Zeit.

Zeit als Teil der Konzeption von Architektur

Architektur war von Anfang an auf Dauerhaftigkeit angelegt. Die Übersetzung von einem vergänglichen in ein haltbares Material, ist mit allen Erzählungen über die Anfänge der Architektur eng verknüpft. Mit der Übersetzung der in Holz konstruierten Behausung in Stein wird die Lebensdauer des Bauwerks sichtbar über das seiner Bewohner hinaus verlängert. Architektur wird so gleichzeitig zu einem Maß der Zeit. Dieses Vermögen, Zeit messbar und erfahrbar zu machen, ist wichtiger noch, als ihre bloße Dauerhaftigkeit⁵. Der steinerne Tempel ist eine Behausung für die Götter geworden und führt ein anderes Zeitmaß ein, das dem Alltäglichen seinen Platz weist in einem Weltganzen. Es ist dieser monumentale Grundgedanke, der am Anfang von Architektur steht.⁶

Um zu verstehen, welche kulturelle Bedeutung mit diesem Grundgedanken verknüpft ist, sei ein kleiner Exkurs in die Kulturwissenschaft erlaubt. „Kultur als Lebenswelt und Monument“, so der Titel des von Aleida Assmann und Dietrich Harth herausgegebenen Bandes, der sich „mit dem Doppelgesicht der Kultur“ auseinandersetzt. Unter dem „Doppelgesicht der Kultur“ verstehen die Herausgeber die Sphä-

3 *Giedion lag falsch in der Annahme, dass Ewigkeitswert und Gebrauchswert sich notwendiger Weise widersprechen müssen. So kann man feststellen, dass eine Diskrepanz zu verzeichnen ist, zwischen der Art und Weise, in der Gebäude gebaut werden – nämlich in Techniken und Materialien, die zu immer dauerhafteren Ergebnissen führen – und den ökonomischen Prozessen, die gleichzeitig die Lebenszeit eines Bauwerks vorurteilslos an seinen ökonomischen Gebrauchswert koppeln. Es tut sich eine Schere auf zwischen den von uns gestellten Erwartungen an unsere Häuser, an das, was sie uns vermitteln sollen und ihrer tatsächlichen Lebensrealität. Dass führt dazu, dass wir in einer immer schneller sich wandelnden Welt bauen, als gäbe es sprichwörtlich kein Morgen, mit den bekannten verheerenden Folgen. Die Bauindustrie ist heute maßgebend für 50% der weltweiten Massenmüllproduktion und 50% des Verbrauchs natürlicher Ressourcen.*

4 *Vgl.(Giedion and Huber 1985, S.8)*

5 *Am Beispiel des Grabsteins legt Mark Wigley dar, dass der Umstand, dass es sich beim Stein nicht um ein von Menschen hergestelltes Material handelt, wesentlich für dessen monumentale Eigenschaften ist. In seinem hypothetischen Vermögen Zeuge des memorialisierten Lebens gewesen sein zu können, liegt sein eigentlicher monumentaler Charakter. Vgl.(Wigley 1999, S.413)*

6 *Vgl.(Wigley 1999, S.413)*

re des Alltäglichen, Flüchtigen, der Lebenswelt einerseits und andererseits die Sphäre der Festtage, der kulturellen Produktion als Träger und Bewahrer von Bedeutung und der Monumente. In ihrem Beitrag greift Aleida Assmann eine Metapher des Soziologen Georg Simmel auf. Die Kultur als Gebirgsbach, eingefasst von einer felsigen Uferkante. Aus dem Strom des Lebens ragen die Produkte menschlicher Kultur, die Monumente, wie Felsbrocken aus dem Wasser und widersetzen sich ihm. Das Begriffspaar des Flüssigen und des Festen bildet für Aleida Assmann die beiden Pole des Spannungsfelds, in dem sich kulturelles Leben bewegt und in dem Kultur entsteht. Kulturelle Tätigkeit beschreibt sie als Oszillieren zwischen Verfestigung und Verflüssigung⁷. Überzeugend an dem Bild des Gebirgsbachs ist das gegenseitige Abhängigkeitsverhältnis der beiden Teile. Erst die sich widersetzenden Felsbrocken, machen den Strom als solchen erfahrbar. Und ebenso ist der Stillstand der Felsen erst im Kontext des Flusses zu erfassen. Ein Bild, wie es direkter nicht auf Architektur übertragbar wäre

Den Stoffwechsel vom Flüchtigen zum Festen als Ursprung der Entwicklung von (monumentaler) Architektur hat keiner so treffend beschrieben wie Gottfried Semper⁸. Für ihn entwickelt sich monumentale Architektur aus den ephemeren und temporären Festtagsarchitekturen – Gebilde die Feierlichkeiten, die dazu dienten ‚ein bestimmtes Ereignis, sei es mythischer oder realer Natur, angemessen zu begehen. Erst der Wunsch nach einem den eigenen Zeithorizont überschreitenden Adressatenkreis – dem Wunsch dieses Ereignis nicht nur den Anwesenden mitzuteilen, sondern ebenso der nachkommenden Generation – führte zu der Übersetzung dieses ‘Festapparatus’ in einen anderen, dauerhafteren Stoff. Ganz im Sinne von Assmanns These, der zwischen Verfestigung und Verflüssigung oszillierenden Tätigkeit des Kulturschaffenden, weist Semper in einer Fussnote seines Textes darauf hin, worauf es seiner Meinung nach ankomme, wenn wahre Kunst entstehen soll. Er spricht vom Karnevalskerzendunst, als der wahren Atmosphäre der Kunst⁹. Nur wer es schafft die Realität zu maskieren – und im Falle von Architektur meint er hier ihre stoffliche Realität – erst der öffnet der Kunst die Tür. Entmaterialisierung bzw. Verflüssigung wäre demnach das Ziel, dem sich Architektur als ursprüngliche Kunst der Versteinerung zu verschreiben hat, um zur Vollendung zu kommen.

Sucht man in der Architekturtheorie nach dem Ursprung von Architektur, lohnt es sich, ihre eigenen Anfänge unter die Lupe zu nehmen. Die zehn Bücher Vitruvs gelten gemeinhin als Ursprung der Architekturtheorie. Dort formuliert er drei Ziele der Architektur: Utilitas, Venustas und Firmitas, welche relativ einfach in die Forderung nach Funktionalität, Schönheit und Konstruktion übersetzbar wären, was auf eine erstaunliche Kontinuität von Werten in der 400-jährigen Architekturgeschichte schließen ließe. Dass trotz aller scheinbaren Verwandtschaft Vitruvs Architekturbegriff sich

7 Vgl. (Assmann 1991, S.181ff)

8 Vgl. Gottfried Semper, *Das Prinzip der Bekleidung in der Baukunst (Ausschnitte) in* (Moravánszky and Gyöngy 2003, S.393-397) *Textquelle: Gottfried Semper (Hrsg. von Friedrich Piel), Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik. Ein Handbuch für Techniker, Künstler und Kunstfreunde. Band 1: Die Textile Kunst für sich betrachtet und in Beziehung zur Baukunst, S.227, 229-234*

9 Vgl. ebenda S.395

in wesentlichen Teilen von unserem unterschied, darauf wurde verwiesen¹⁰. Trotzdem bzw. vielleicht gerade deshalb mag der Vergleich aufschlussreich sein. Unsere Fragestellung betrifft hierbei vor allem zwei Aspekte. Zum einen geht es um den für uns bedeutsamen Begriff *Firmitas* und zum anderen um die Aufgabengebiete der Architektur, wie sie Vitruv formuliert und damit um die Frage, was in seinen Augen Architektur ist.

Günther Fischer übersetzt *Firmitas* mit Festigkeit, Standhaftigkeit und Stärke, tut sich aber selber schwer dieses Ziel einzuordnen. Einerseits weist er darauf hin, dass die Interpretation von *Firmitas* als Konstruktion, also in erster Linie als Wahrung statischer Gesetze gemeint, wohl unzureichend ist. Andererseits spekuliert er darüber, ob nicht eine Ursache für die Bedeutung von *Firmitas* in Vitruvs Begrifflichkeit, der spekulative Massenwohnungsbau im damaligen Rom gewesen sein könnte, dessen unzulängliche Bauten immer wieder einstürzten, mit katastrophalen Folgen¹¹. Des Weiteren erläutert er die Aufgabengebiete der Architektur, wie sie Vitruv beschreibt. Es sind dies Bauten des öffentlichen Gebrauchs (Theater, Bäder, etc), sakrale Bauten, die Wehranlagen der Stadt, Privathäuser. Der Wohnungsbau der Unter-, sowie Mittelschicht ist nicht dabei. Des Weiteren gehören der Maschinenbau und der Uhrenbau zu den Aufgaben des Architekten. Bei Ersterem geht es um die Herstellung von zum Bauen notwendigen Maschinen und solchen, die Verteidigungszwecken dienen, während bei dem Zweiten insbesondere der korrekte Bau von Sonnenuhren gemeint ist¹². Günther Fischer bemerkt zwar den eklatanten Unterschied zu heutigen Aufgabenbereichen der Architektur, zollt ihm aber wenig Aufmerksamkeit. Er konstatiert die Lücken im Aufgabenfeld und zeigt sich verwundert über ihre Erweiterung Richtung Maschinenbau und Uhrenbau. Aber müsste man diesen Aufgabenfeldern nicht viel mehr Aufmerksamkeit zollen? Es ist unwahrscheinlich, dass ein so wichtiger Aspekt von Vitruv lückenhaft und wahllos behandelt wurde. Vielmehr läge nahe, in der konkreten Auswahl der Aufgaben, nach dem Wesen dessen, was Architektur für Vitruv bedeutet, zu suchen.

Eine Antwort hierauf findet Gerd de Bruyn¹³ in dem umfassenden Bildungsanspruch den Vitruv an den Architekten stellt. Er sieht darin die Aufforderung nach einer engen Verzahnung der unterschiedlichen Wissenschaften zu einem umfassenden, enzyklopädischen Wissenskomplex. Vitruv sei, so de Bruyn, der Begründer von Architektur, als einer enzyklopädischen Kunst und Wissenschaft zugleich¹⁴. Ein Grundgedanke, der seit dem die gesamte vormoderne Architekturauffassung charakterisiert habe: „Deren Bedeutung [der Architektur] bestand darin, den Menschen über lange historische Zeiträume hinweg die Einheit ihrer Welt und ihres Denkens und Handelns zu garantieren“¹⁵. Vor dieser Architekturauffassung muss man Vitruvs Auswahl der Tätigkeitsfelder des Architekten lesen. Aufgabe der Architektur ist es, einen in allen Belangen ordnenden Zusammenhang herzustellen: sowohl in physischer, als auch in

¹⁰ Hier sei insbesondere auf die ausführliche Neuübersetzung und Neuinterpretation von Günther Fischer verwiesen. (Fischer 2010)

¹¹ Vgl.(Fischer 2010, S.135ff)

¹² Vgl.ebenda S.133ff

¹³ (de Bruyn 2008)

¹⁴ Vgl. ebenda S.105f

¹⁵ Ebenda S.18

metaphysischer Sicht, in praktischen, als auch in grundsätzlichen Belangen, im Raum, wie in der Zeit. Dies ist zwar ein umfassender Anspruch, bedeutet aber keinesfalls, dass dieser auch in umfassenden Bauaufgaben resultiert. Nicht alles Gebaute muss diesem Anspruch genügen. Es reicht ein Rahmenwerk von Bauten, die diesen Zusammenhang gewährleisten und darstellen können und zwar nicht nur räumlich, sondern auch in der Zeit: Das sind die Stadtmauern – sie stellen die physischen Grenzen dar, das sind die öffentlichen Bauten – sie beherbergen und ordnen das öffentliche Leben und es sind die Heiligtümer – sie stellen den kosmischen und überzeitlichen Zusammenhang her. Vor diesem Hintergrund bekommt die Forderung nach *Firmitas*, als Festigkeit, Standhaftigkeit und Stärke eine etwas andere Konnotation. Nicht mehr allein die Funktion dieser Eigenschaft scheint das Ziel zu sein, sondern hinzu kommt ihre symbolische Aussagekraft. Das Vermögen von Bauten Zeitzugenschaft zu akquirieren liegt nicht allein in ihrer Dauerhaftigkeit begründet. Dieser Blick auf Vitruvs Architekturauffassung wirft auch ein Licht auf die von heutigem Standpunkt aus so fremd wirkende Forderung, der Architekt solle sich ebenfalls im Bau von Uhren, namentlich Sonnenuhren betätigen. Man muss bedenken, dass zu einer Zeit, in der die Mittel und Möglichkeiten Zeit zu messen bei weitem nicht so omnipräsent waren, wie sie es heutzutage sind, der Uhr im öffentlichen Raum eine ganz andere Bedeutung zukam. Die im Stadtraum errichtete Sonnenuhr (möglicherweise im Kontext eines öffentlichen Bauwerks) war zeitlicher Bezugspunkt für das öffentliche, wie für das private Leben der Stadtbewohner. So wie die steinernen Tempel der Heiligtümer Messinstrumente einer kosmologischen Zeit waren, war die Sonnenuhr die Taktgeberin der alltäglichen Lebenswelt und beide waren Teil des gleichen umfassenden Ordnungssystems, dass die Architektur im Sinne Vitruvs darstellte.

Zeit in der Rezeption von Architektur

In der speziellen Art und Weise, wie wir Architektur rezipieren, liegt eine weitere Eigenart ihres speziellen Verhältnisses zur Zeit. Eine Besonderheit, die Architektur von anderen Künsten unterscheidet, läge in ihrer doppelten Rezeption, schrieb Walter Benjamin in seinem viel zitierten Aufsatz „Das Kunstwerk im Zeitalter seiner Reproduktion“. Architektur könne sowohl durch Wahrnehmung, als auch durch Gebrauch rezipiert werden. Neben der bewussten, kontemplativen (der Betrachtung eines Gemäldes ähnlichen) Art der Wahrnehmung von Architektur, wie sie zum Beispiel dem Reisenden im Angesicht von Sehenswürdigkeiten eigen sei ist, bestimme den überwiegenden Teil unserer alltäglichen Architekturwahrnehmung die Gewohnheit. „Auch sie [die optische Rezeption von Architektur] findet von Hause aus viel weniger in einem gespannten Aufmerken als in einem beiläufigen Bemerken statt.“¹⁶ Es ist eine Wahrnehmung im Zustand der Zerstreuung, so W. Benjamin und damit wegweisend für eine Kultur der Zerstreuung, wie er sie im Anbruch wähnt.

Aus der von Benjamin beschriebenen doppelten Wahrnehmung von Architektur, ergibt sich für Georg Franck auch ihre doppelte Aufgabe und die Auflösung des Widerspruchs von Ästhetik und Funktion¹⁷. Architektur muss Beides leisten. Sie muss sowohl als Objekt kontemplativer Betrachtung dienen, als auch dafür sorgen, dass die

¹⁶ Walter Benjamin, *Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit in* (Hauser 2011, S.100-113)

¹⁷ Vgl.(Franck and Franck 2008, S.21)

Randbedingungen hierfür stimmen. Wir nehmen Architektur nicht alleine mit unseren Augen, sondern mit all unseren Sinnen wahr, wir riechen und spüren sie. Wir nehmen sie als Atmosphäre wahr, ohne uns notwendig über diesen Vorgang bewusst zu werden. Erst wenn wir uns wohl fühlen, haben wir den Kopf frei, uns auf Dinge zu konzentrieren. Georg Franck spricht vom „Hintergrundgefühl des leiblichen Wohlbefindens“¹⁸, für welches Architektur verantwortlich sei. Wahrnehmung im Gebrauch zeichne sich nach Franck vor allem dadurch aus, dass sie nicht fokussiert (das täte sie nur, wenn etwas nicht stimmt, nicht funktioniert). Für diesen Teil der Wahrnehmung von Architektur sei vielmehr ein ausgewogenes Zusammenspiel aller Sinne maßgeblich. Hier spinnt Franck die Idee Benjamins weiter. Es ist eben nicht nur der störungsfreie Gebrauch, der wahrgenommen wird, sondern es ist die Eigenart des Zusammenspiels der Sinne, wie sie die jeweilige Architektur in Gang setzt. Franck spricht davon, dass man in Stimmung versetzt wird. Dieses Gestimmt-werden führt im besten Fall zu einer „synästhetischen Resonanz“, dem Zusammenklang aller Sinne¹⁹.

Architektur bildet den Hintergrund für unsere Lebenswelt, räumlich, wie zeitlich. Das ist ihre ureigenste Aufgabe und vieles spricht dafür, dass wir ihr diese Rolle auch automatisch zuweisen. Im Sinne von Georg Simmels Bild des Gebirgsflusses, benötigen wir die festen Uferkanten unserer gebauten Umwelt, um den Strom unseres Lebensalltags betrachten zu können. In gleichem Maße, wie Gewohnheit wesentlich unsere Wahrnehmung von Architektur bestimmt, überträgt sie sich auf den Gegenstand unserer Wahrnehmung. An nichts gewöhnen wir uns schneller, als an Architektur. Eben erst fertig gestellt, kommt es uns schon vor, als ob das Haus schon ewig an dieser Stelle gestanden hätte. Und umgekehrt, tritt sie oft erst dann in den Fokus unserer bewussten Wahrnehmung, wenn ihr Verschwinden droht bzw. schon stattgefunden hat. Das Haus, das lange Jahre unbemerkt unseren Lebensalltag begleitet hat, ist mit einem Mal verschwunden. Weil sie mit diesem Haus ganz persönliche Erinnerungen verknüpft hatten, empfinden die meisten Menschen das als willkürlichen Eingriff in ihre Privatsphäre. Der kollektive Wert von Architektur liegt nicht allein in ihrer Eigenschaft als Trägerin kollektiver Werte, sondern vornehmlich darin, dass sie eine kollektive Sammelstelle individueller Erinnerungen bildet. Unter allen Artefakten scheint sie sich dafür am Besten zu eignen. Warum ist das so? In der Rückverfolgung von Benjamins Argumentation könnte eine Antwort liegen. In seinem Aufsatz argumentiert er, dass die technische Reproduktion (bzw. ihre Möglichkeit) zu einem Verlust der Aura des Kunstwerks führe. Aura bezeichnet er als „einmalige Erscheinung einer Ferne so nah sie sein mag“²⁰ und beschreibt damit eine Unnahbarkeit, wie sie ursprünglich dem Kultwert religiöser Kunst entsprach. Und diese geht bei der Reproduktion verloren. In gewisser Weise passiert im Prozess der Wahrnehmung von Architektur genau das Gegenteil, kein Verlust, sondern die Zuordnung einer Aura. Das Gefühl des ‘Gestimmtwerdens’, wie es Franck als kennzeichnend für die Rezeption von Architektur beschreibt, produziert eine Art Fremdheit und Unnahbarkeit, die der Architektur eine Aura verleiht. Es ist diese Aura, die uns an die Einmaligkeit und Echtheit von Architektur, an ihr „Hier und Jetzt“ glauben lassen und die ihr ihre Au-

18 *Ebenda* S.22

19 *Vgl. ebenda* S.26

20 *Walter Benjamin, Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit in (Hauser 2011, S.103)*

thentizität verleiht. Dies ist der Grund, wieso wir bereit sind, Objekten der Architektur unsere intimsten Erinnerungen anzuvertrauen. Unsere persönlichen Monumente finden wir in der Architektur.

Wir erfahren Architektur in unserer Lebenswelt also als ambivalent. Sie steht gleichermaßen für Gewohnheit, wie für Fremdheit. Als solches verkörpert sie Kontinuität und Vergänglichkeit in einem. Sicherheit durch Kontinuität, wie sie in dem von ihr vermittelten Gefühl der Gewohnheit liegt und Vergänglichkeit über ihre Fähigkeit Erinnerungen zu bewahren. Dabei lassen die sichtbaren Spuren des Alterns am Bauwerk den Betrachter seiner eigenen Vergänglichkeit gewahr werden²¹. Architektur wird zum Maßstab, an dem die individuelle Lebenszeit bemessen wird. Sowohl in ihrer ursprünglichen Konzeption, wie in ihrer Rezeption, wird die besondere Rolle von Architektur als einem Maß für Zeit ersichtlich.

Architektonische Identität im Wandel der Zeit

In der Architekturgeschichte war es die Frage ‘Was ist Monumentalität?’, in der sich die Frage nach der architektonischen Identität widerspiegelte. Abgeleitet von seinem Wortstamm²² galt Monumentalität ursprünglich als eine spezifische Form in der Architektur, ähnlich dem Drama in der Literatur oder der Tragödie im Theater. Es ging um die Frage, auf welche Weise, mit welchen Formen, Bauten zu erstellen sind, die auf Dauer bleiben sollten – was ursprünglich nur wenige Bauten betraf. Bis ins späte 19. Jahrhundert unterschied man Zweckbauten von Monumentalbauten. Im Vordergrund stand die Frage nach den Techniken, Mitteln und Formen. Erst dahinter verbarg sich die Frage nach dem, was wert sei, bewahrt und erinnert zu werden. Eine Frage, die lange keine war, weil die Antworten offensichtlich waren. Erst im Anbruch der Moderne, wird diese Frage drängender und schiebt sich in den Vordergrund²³. So stellt sich am Begriff der Monumentalität die Frage, was wesentlich in der Architektur ist. Monumentalität sei „der höchste und eigentliche Ausdruck der Kultur einer Zeit“²⁴, so Peter Behrens. Sein ehemaliger Mitarbeiter, Mies van der Rohe drückt das später, etwas pathetischer so aus: „Baukunst ist immer raumgefasster Zeitwille, nichts anderes.“²⁵ An dieser Stelle soll nun nicht der gesamte architekturgeschichtliche Diskurs über Monumentalität aufgerollt werden. Es geht mir vor allem darum, in einigen wenigen Schlaglichtern entlang dieses Diskurses, die sich wandelnde Rolle der Zeit für die Bedeutung von Architektur bzw. ihre architektonische Identität darzulegen.

In vormoderner Zeit waren es die Eigenschaften Dauerhaftigkeit und Größe, die architektonische Artefakte auszeichneten und sie besonders geeignet scheinen liessen, als Träger kollektiver Erinnerungen zu dienen. Nach T. Schoper ist es eine Identität

21 *Es ist der Verdienst von Alois Riegl den Wert des Alterns, den ‘Alterswert’ für die Architekturtheorie entdeckt zu haben. Vgl. Alois Riegl, Der moderne Denkmalkultus, sein Wesen und seine Entstehung in (Moravánszky and Gyöngy 2003, S.402)*

22 *monere – erinnern, mahnen*

23 *Vgl. Roland Meyer, Zur Einführung in (Hauser 2011, S.27ff)*

24 *(Moravánszky and Gyöngy 2003, S.373)*

25 *Ebenda S.414*

des Selben²⁶, die hier architektonische Identität kennzeichnet. Das materielle Objekt selbst ist Bedeutung und Bedeutungsträger in einem. Das Monument steht förmlich im Strom der Zeit. An ihm, an seiner Patina kann Zeit spürbar erfahren werden. Es ist gleichzeitig ein materieller Zeitspeicher, der Zeit akkumuliert hat. Wie schon erwähnt, war es Alois Riegl, der den Begriff 'Alterswert' einführte. Im Gegensatz zum historischen Wert eines Denkmals, ist es allein die spürbare Erfahrung des Alters, dem Riegl im 'Alterswert' einen Wert beimisst²⁷. Bezeichnender Weise isoliert Riegl den Wert des Alters von Architektur zu einer Zeit, in der die Einheit aus Bedeutung und Objekt schon auseinander zu fallen beginnt²⁸.

Es ist sein Zeitgenosse, der deutsche Kunsthistoriker August Schmarsow, der in einer viel beachteten und einflussreichen Rede die 'Raumidee' als das Wesen der architektonischen Schöpfung²⁹ pries. Dies ist der Beginn einer Verschiebung der Bedeutung vom Objekt zum Raum, wie er die Moderne kennzeichnete. Die architektonische Identität ist nicht mehr direkt an die Materialität des architektonischen Artefakts gebunden. Architektur wird in gewisser Weise alterslos. Im gleichen Atemzug in dem die Zeitlosigkeit wahrer (monumentaler) Architektur proklamiert wird, verfestigt sich ihre Unfähigkeit zu altern. Wie ausführlich beschrieben³⁰, zeigt sich spätestens in den weißen Wänden der klassischen Moderne, der unbedingte Wille ihrer Protagonisten das eigene Werk aus der Zeit heraus zu lösen und ihm so gleichzeitig das Altern zu verwehren. Seine universelle Gültigkeit entbindet es von seiner materiellen Bedingtheit. Die weiße Wand, die keine Patina mehr anlegen kann ist Sinnbild und Verweis auf diese Immaterialität. Architektur wird zum reinen „Spiel der Volumen unter der Sonne“ (Le Corbusier).

Passender Weise beginnt sich das Verhältnis von Zeit und Bedeutung erneut zu verschieben, just in dem Moment, in dem die Inkunabeln der Moderne nun doch drohen der Unzulänglichkeit ihres materiellen Daseins zum Opfer zu fallen und den Denkmalschutz so vor das Problem des nicht altern-dürfenden Monuments stellen³¹. In den 50er und 60er Jahren des 20. Jahrhunderts wird die Debatte über Monumentalität von der nächsten Generation von Architekten und Kulturschaffenden neu aufgerollt. Die Erfahrung zweier Weltkriege, die sich formierende Konsumgesellschaft der Nachkriegsjahre und eine technologische Entwicklung, deren globaler Effekt sich andeutete – das waren die Hintergründe vor denen diese Diskussion sich entfachte. In England war es die sogenannte 'Independent Group' die sie anleitete. Eine Grup-

26 Vgl.(Schoper 2010, S.93ff)

27 *Die Eigenständigkeit, die er diesem Wert zugesteht, geht sogar soweit, dass er ihn im Konflikt mit anderen Werten des Denkmals stehen sieht. Je mehr Zeichen des Alters ein Denkmal aufweise und selbst wenn dies zu Lasten der Erkennbarkeit seines historischen oder gesellschaftlichen Werts ginge – so das Beispiel der immer weiter verfallenden Ruine – desto höher sei der 'Alterswert'. Vgl. Alois Riegl, Der moderne Denkmalkultus, sein Wesen und seine Entstehung in (Moravánszky and Gyöngy 2003, S.402)*

28 *Das zeigt auch sein Denkmalbegriff, der sich von dem des Monuments unterscheidet. Für Riegl sind nicht allein Bauten, die als Monumente intendiert waren, denkmalwürdig. Genauso kann deren 'Alterswert' hierfür ausschlaggebend sein.*

29 *So lautete der Titel seiner 1894 gehaltenen Antrittsrede als Professor für Kunstgeschichte an der Universität von Leipzig. Vgl. August Schmarsow, Das Wesen der Architektonischen Schöpfung (1893) in (Hauser 2011, S.41ff)*

30 Vgl.(Wohlleben 1990)

31 Vgl.(Wigley 1999, S.411)

pe von Architekten, Kritikern und Künstlern, zu deren berühmtesten Mitgliedern das Architekten-Ehepaar Alison und Peter Smithson, der Architekturhistoriker Reyner Banham, sowie der Künstler Nigel Henderson zählten. Die sich wandelnde Konzeption der architektonischen Identität, wie sie sich in Folge dieser Debatte zeigt, kann an dem Aufsatz 'The Plastic Parthenon' von John McHale, einem weiteren Mitglied der 'Independent Group' exemplarisch gezeigt werden. Seien es ehemals die dauerhaften Artefakte (allen voran die Architektur) gewesen, die aufgrund ihrer Einzigartigkeit für Erhaltung und Kontinuität einer Gesellschaft verantwortlich zeichneten, während die Bedeutung des Einzelnen im Angesicht der Monumente entbehrlich (engl.: expendable) zu sein schien, so kehre sich dieses Verhältnis in einer Gesellschaft, die nicht länger auf einer „Wirtschaft der Seltenheit der Güter“ beruhe, um. Während die Produkte der Gesellschaft nun samt und sonders einer Massenindustrie entstammten, deren Automatisierungsprozess dazu führe, dass alles reproduzierbar sei, würde das Wissen des Mensch zum einmaligen und nicht zu ersetzenden Element der Gesellschaft³². Wichtiger als das Original wird das Wissen dahinter, das Wissen, wie etwas reproduziert bzw. rekonstruiert werden kann³³.

So findet eine Verschiebung der Bedeutung vom Objekt zum Gebrauch und von der Form zum Prozess³⁴ statt, die nicht ohne Auswirkungen auf ihre zeitliche Relation bleibt. Bedeutung ist nicht mehr länger objektgebunden, sie entsteht im Gebrauch. Sie ist fortan zeitgebunden. Das architektonische Artefakt ist entbehrlich geworden, nur noch vorübergehend, sozusagen leihweise Träger von Bedeutung; Dauerhaftigkeit und Größe bzw. Massivität sind somit auch keine wünschenswerten Eigenschaften mehr. Im Gegenteil, vielmehr besteht nun die Gefahr, dass überalterte Objekte der rasanten technologischen Entwicklung im Weg stehen³⁵.

Ein weiterer, für die Architektur noch folgenreicherer Text, charakterisiert diese neue Konzeption architektonischer Identität und stellt die Frage nach Monumentalität und architektonischer Bedeutung neu. In „Learning from Las Vegas“³⁶ stellen Robert Venturi, Denise Scott Brown und Steven Izenour etc in Bezug auf die Frage, was ist ein Monument (oder worin liegt die Bedeutung von Architektur?) zwei zentrale Thesen auf. Erstens: Bedeutung ist keine Frage von Form oder Größe, sondern Bedeutung entsteht durch Zuweisung. Zweitens: die Zuweisung von Bedeutung ist

32 Vgl.(McHale and Kitnick 2011, S.88)

Wie weitsichtig McHale in seinem Aufsatz ist, zeigt sich an seinem Argument, dass es neben dem Vermögen der Reproduktion, insbesondere die neuen Möglichkeiten der Kommunikation und der weltweiten Informationsübertragung hierfür verantwortlich seien. die dafür Sorge trügen, dass die Artefakte ihre Funktion als Erinnerungsträger einbüßten. „Buildings no longer hold memory. [...] Their memorializing function has been displaced by images [...] Digital archives have taken over the role of storing memory from solid structures. Collective memory is diffused across an invisible electronic landscape rather than concentrated in singular monumental objects.“ (Wigley 1999)

33 Ein Großteil der europäischen Kathedralen könne, falls sie zerstört würden, problemlos anhand ihrer photogrammetrischen Dokumentation wieder aufgebaut werden, so McHale in seinem Aufsatz. Vgl.(McHale and Kitnick 2011, S.89)

34 Vgl. Laurent Stalder, *Monumente der unmittelbaren Zukunft* in (Ruhl 2011, S.64-75)

35 An dem Titel 'Plastic Parthenon' wird deutlich, welche idealen Eigenschaften das zeitgenössische Artefakt McHale zufolge besitzen sollte. Für jedermann zugänglich, in Massen produzierbar und zu 100% reversibel.

36 (Venturi, Scott Brown, and Izenour 2007)

ein sozialer, kollektiver Prozess, der nicht von Architekten kontrolliert wird, sondern der seinen Ursprung in der Lebenswelt seiner jeweiligen Zeit hat³⁷. Venturi, Scott Brown und Izenour beschreiben diese Art von Prozess am Beispiel des ‘Strip von Las Vegas’, einer scheinbar planlos entstandenen Stadtstruktur, die allein den Bedürfnissen einer vom Automobil dominierten Gesellschaft geschuldet ist. Neu an ihrem Vergleich ist nicht so sehr, welches die neuen Bedeutungsträger sind³⁸, sondern viel mehr, wie sie zustande gekommen sind. Als genuiner Ausdruck der kollektiven Werte einer Zeit, sind die Bauten entlang des ‘Strip von Las Vegas’ entstanden, nicht obwohl, sondern gerade weil sie nicht (von Architekten) geplant wurden. Der Architekt ist nur noch derjenige, der sie auffindet, nicht mehr derjenige, der sie erfindet³⁹. Aber was nicht planbar ist, ist auch nicht berechenbar. Monumentalität ist in diesem Sinne eine temporäre Eigenschaft geworden. Beanspruchte der von Mies eingeforderte ‘Zeitwille’ noch zeitlose Bedeutung, ist das Monument in Venturis und John McHales Sinne nicht auf Dauer angelegt; es ist im besten Falle ephemer.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass der Zeit in den unterschiedlichen Konzeptionen architektonischer Identität zwar eine wesentliche, aber eine ambivalente Bedeutung zukommt. Alle beschriebenen architektonischen Identitäten sind nach wie vor gültige Konzeptionen zeitgenössischer Architektur, die parallel existieren. Das erklärt, warum die Forderung nach einer recycelfähigen oder besser gesagt ‘kreislaufgerechten’ Architektur so kontrovers diskutiert wird und all zu oft in das Kreuzfeuer der ideologisch gefärbten Grabenkämpfe gerät, die um die Frage, nach dem Wert von Dauerhaftigkeit in der Architektur ausgefochten werden⁴⁰.

37 Vgl. Martino Stierli, “I am a Monument“, *Zur Phänomenologie des Monumentalen* in (Rühl 2011, S.99-122)

38 Nicht von ungefähr, ähnelt die Glitzerwelt von Las Vegas mit ihren überbordenden Neonlichtreklamen in ihrer nächtlichen Anmutung dem Spektakel eines Feuerwerks und erinnert so an Siegfried Giedions Versuch einer Neudefinition von Monumentalität vierzig Jahre zuvor. Vgl. José Luis Sert, Fernand Leger, Siegfried Giedion, *Neun Punkte über Monumentalität – ein menschliches Bedürfnis* in (Moravánszky and Gyöngy 2003, S.433ff)

39 Vgl. hierzu die *Urhütte als Gefundenes oder als Erfundenes* in (Schofer 2010, S.63ff)

40 „In Europa ist schon der Gedanke an das Recyceln von Gebäuden krank.“ Hans Kolhoff in (Ungers, Hertweck, and UAA Ungers Archiv für Architekturwissenschaft 2013)

Teil Drei: Zeit – Material – Konstruktion

Was bedeutet die Forderung nach einer kreislaufgerechten Architektur für den Planer?

Wie sieht das Verhältnis von Bauwerk zu Zeit aus? Wie ist es darstellbar?

Was ist an unterschiedlichen Lebenszyklusszenarien und damit auch -strategien vorstellbar?

Wie anfangs beschrieben geht es in diesem Teil der Arbeit darum, wie sich dem Architekten die Frage nach dem Verhältnis des Bauwerks zu seiner Lebenszeit als Entwerfer stellt. Ziel ist, die Grundlagen einer Lebenszyklusplanung, wie sie Architekten heute zur Verfügung stehen, zu erläutern und dieses Wissen so darzustellen, dass es für den entwerfenden Architekten greifbar wird. Dies soll exemplarisch am Entwurfsprozess eines konkreten Fallbeispiels untersucht werden. Hierfür sollen Fallstudien zu Entwurfsalternativen entwickelt werden, die in unterschiedlichen Lebenszyklusszenarien miteinander verglichen werden sollen. So soll die Spannweite des möglichen Lösungsspektrums abgebildet werden. Die Studie gliedert sich in folgende Arbeitsschritte:

Zunächst gilt es, für die Untersuchung grundlegenden Begriffe zu erläutern. Dann werden das konkrete Fallbeispiel, sowie die Vorgehensweise zur Erstellung der alternativen Fallstudien vorgestellt. Im Anschluss wird der Untersuchungsrahmen, in Form von Systemgrenzen, Datengrundlagen und Bilanzierungswerkzeugen, festgelegt. Es folgt eine Beschreibung der grundlegenden Hypothese der vorgenommenen Lebenszyklusbetrachtung, sowie eine Beschreibung der Lebenszyklusszenarien, die untersucht werden sollen. In der anschließenden Untersuchung werden die Lebenszyklen des Fallbeispiels, wie der ausgewählten Fallstudien entsprechend der beschriebenen Lebenszyklusszenarien dargestellt und bewertet.

Grundlagen

Ziel dieses Kapitels ist es, die für den Begriff 'kreislaufgerechte' Architektur, so wie für die nachfolgende Untersuchung wesentlichen Grundlagen vorzustellen und zu erläutern.

Der Bedeutungszusammenhang von Recycling und kreislaufgerechter Architektur liegt auf der Hand. Welche Assoziationen und welche Hoffnungen weckt er – und welche Projektionsfläche bietet die Architektur hierfür? Wie kann seine Bedeutungsvielfalt begrifflich eingegrenzt werden? Und welche wissenschaftlichen Arbeiten existieren, auf denen die vorliegende Arbeit aufbauen kann.

Die Ökobilanz als notwendige Methode zur Bilanzierung unter anderem der grauen Energie von Bauwerken wird vorgestellt und erläutert.

Der Systemgedanke, wie er den Untersuchungen zugrunde liegt wird, hergeleitet und beschrieben. Insbesondere auf die Frage des Alterns und ihre Bedeutung für die einzelnen Systemebenen wird eingegangen.

Recycling

„Als 'Recycling' wird gemeinhin das Wieder-Einbringen von aus der Gebrauchssphäre ausgesonderten, ihrer Funktion entledigten Gegenständen und Materialien in den Produktions- bzw. Nutzungskreislauf verstanden. Begriff, Idee und Praxis des Recyclings sind folglich untrennbar mit dem Müll- bzw. Abfallstatus von Dingen oder Stoffen verbunden; das Wegwerfen [...] ist unabdingbare Vorraussetzung.“¹

Ursprünglich ein Begriff aus der US-amerikanischen Öl-Industrie der 20er Jahre, der die Rückführung von nur teilweise raffiniertem Öl in den Raffinerieprozess² beschrieb, wurde er in den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts im Kontext der Abfallvermeidung weltweit populär. Die assoziative Kraft des Begriffs ist riesengroß. Auch in nicht-englischsprachigen Ländern steht der englische Begriff „Recycling“ mittlerweile als Sinnbild für ein gesellschaftliches Umdenken im Zeichen der ökologischen Krise.

Während man in den 80er Jahren unter dem Schlagwort Recycling begonnen hat, Müll zu sammeln und zu sortieren – eine scheinbar hilflose Tätigkeit, die aber zum Symbol des persönlichen Widerstands und Willens zum Umdenken wurde – ist der Begriff heute zum Etikett für Lifestyleprodukte gereift und zum Markenzeichen einer jungen Generation geworden, für die ökologisches Denken ein Teil ihres nach Außen getragenen Selbstverständnisses ist.

Unter dem Stichwort Recycling wird sowohl die Möglichkeit des alltäglichen, individuellen „Anders-Handelns“ eingeschlossen, wie auch die Lösung zu den ganz großen Problemen versprochen. Das Recyceln verspricht darüber hinaus eine Lösung ohne Verzicht – eine Lösung, die scheinbar nahtlos in unser auf Wachstumsraten angewiesenes Wirtschaftssystem passt. Die Neubewertung von Abfall als Ressource ist aus dieser Perspektive ein geschickter (Taschenspieler-)Trick: Was als Müll unerwünscht

1 (Samida 2014, S.104)

2 Vgl. ebenda dort Verweis auf (Liboiron 2012, S.735f.)

und unsichtbar war, wird mit einem Mal zur wertvollen Ressource, zur Ware erklärt. Dass dieser profitable Wandel von ‘Dreck zu Gold’ daher auch oft in der Grauzone an den Rändern unserer Gesellschaft stattfindet, und organisiertes Verbrechen und Abfallwirtschaft auf einer globalen Ebene unheilvoll miteinander verquickt sind, ist ein offenes Geheimnis – Marc Angelil und Cary Siress legen dies in ihrem intelligenten Aufsatz ‘Re: Going Around in Circles’³ eindrücklich dar. In dem Logo für Recycling, das sich weltweit durchgesetzt hat, findet sich bezeichnender Weise genau dieser Trickeffekt wieder: die meist zweidimensional dargestellten Pfeile, die manchmal ein Dreieck, manchmal einen Kreis bilden und so wieder zu ihrem Ausgangspunkt führen, stellen im Originalentwurf ein Möbiusband dar⁴ – die 3-dimensionale Illusion eines unendlich fortlaufenden Bandes, eines unendlichen Kreislaufs.

Auch Michael Braungart und William McDonough argumentieren im Rahmen ihres vielbeachteten Cradle to Cradle (von der Wiege zur Wiege) - Konzepts⁵ in diesem Sinne. Für sie ist Recycling in seiner kompromisslosen Reinform die einzige mögliche Lösung. So proklamieren die beiden Autoren in ihrem Vorschlag eine konsequente Kreislaufwirtschaft mit lückenlosem Stoffkreislauf als Königsweg aus der ökologischen Krise. Ökoeffektivität anstatt Ökoeffizienz lautet ihr Motto. Es reiche nicht aus, Produkte zu erstellen, die weniger schädlich seien, sondern sie müssten in Analogie zu ihren natürlichen Vorbildern so intelligent produziert werden, dass sie neue vollständig Kreisläufe schafften. Braungart unterscheidet Verbrauchsgüter und Gebrauchsgüter. Für die letztere Kategorie an Produkten (zu dieser würden auch Bauwerke gehören) schlägt er ein Miet- oder Leasingkonzept vor, so dass Herstellung und Entsorgung in einer Hand belassen würden, um die Planbarkeit des Produktkreislaufs zu ermöglichen. Braungarts und McDonoughs positivistische Botschaft lautet: Es liegt kein strukturelles Problem vor, allein die Produkte, die wir herstellen sind bislang nicht gut genug – und in Erwartung des durchschlagenden wirtschaftlichen Erfolgs, haben sie ihre Idee gleich als Markenzeichen schützen lassen, mit dem entsprechende Produkte zertifiziert werden können. Hier zeigt sich der ganze Optimismus und das (Heils-)versprechen, das mit dem Begriff Recycling verknüpft wird.

Einen interessanten, wenn auch akademischen Ansatz zum Themenbereich Architektur und Recycling stellt die Arbeit ‘Transformable Building Structures’⁶ von Elma Durmisevic dar, die durch ihren gesamtheitlichen Anspruch und eine architektonische Lösungssuche wohltuend auffällt. Mit ihrer Arbeit hat sie eine sehr ausführliche Untersuchung zu der Frage vorgelegt, wovon die Wandelfähigkeit eines Gebäudes abhängt und wie ein Entwurfsansatz aussehen kann, der den Rückbau schon vor Augen hat (design for disassembly). Die Fähigkeit zum Wandel nennt sie Transformationskapazität (Transformation Capacity) und entwickelt in ihrer Arbeit ein Rechenmodell zu dessen Bewertung. In ihrer Methode knüpft sie an strukturalistische Vordenker, wie N. John Habraken⁷ an. Sie entwickelt das Bauwerk als System aus unterschiedlichen Ebenen und deren Relationen untereinander, dabei unterscheidet sie die funktionale, die technische und die physische Ebene des Bauwerks. Ein Bau-

3 in (Ruby 2010, S.248-262)

4 Vgl. ebenda

5 Vgl.(Braungart and McDonough 2014)

6 (Durmisevic 2006a)

7 (Habraken and Teicher 2000)

werk mit hoher Transformationskapazität beschreibt sie als offenes System. Wesentlich für ein solches sind aus ihrer Sicht zwei zentrale Kriterien: Selbständigkeit bzw. Unabhängigkeit (Independence) und Auswechselbarkeit (exchangeability). Anforderungen, die laut Durmisevic, auf den unterschiedlichen Ebenen des Systems erfüllt werden müssen sind: eine Trennung der einzelnen Gebädefunktionen, eine flache Hierarchie der technischen Systeme und reversible Verbindungen auf der physischen Ebene. Das Modell (Knowledge Model), welches sie zur Bewertung der Transformationskapazität entwickelt, besteht aus 8 Kategorien mit jeweils bis zu 20 Merkmalen, die sie mit einem Punktesystem bewertet⁸. Gerade der systemische Ansatz als Perspektive auf den Lebenszyklus des Gebäudes ist vielversprechend, da er das Haus weniger als Objekt, sondern vielmehr als Systemzusammenhang beschreibt. Dies erlaubt es, das Haus in einer Welt aus Energie- und Stoffströmen zu beschreiben, anstatt in einer Welt aus Objekten. Die ausgesprochen aufwendige Bewertungsmatrix, taugt allerdings nicht so sehr als Werkzeug für den Entwurf, sondern ist eher zum Zwecke einer Art Zertifizierung gedacht.

Insgesamt ist festzustellen, dass das Interesse seitens der architekturnahen Forschung an dem Thema des Recycling von Gebäuden in den letzten Jahren eher abgenommen hat, nachdem es um die Jahrtausendwende sehr präsent war. Die Architektur scheint das Feld wieder mehr den Materialwissenschaften und Maschinenbauern überlassen zu haben, die sich auf der Ebene der Entsorgung mit der Bergung und Verwertung von Abrissgütern beschäftigen. Woran mag dies liegen? Größter Hemmschuh einer Umsetzung der Forschungsergebnisse ist sicherlich, im Gegensatz zum Thema Energieeffizienz, der fehlende ökonomische Anreiz. Dies hat mehrere Gründe. In der Baubranche ist der Bauherr selten derjenige, der das Bauwerk wieder ‚rückbaut. Er ist also auch nicht derjenige, der von einem Mehraufwand, den der recycelgerechte Bau bedeutete, profitieren würde. So kommt es, dass der kontrollierte Rückbau, in Deutschland zumindest, was die rechtliche Seite betrifft, weitestgehend geregelt ist, aber eine eigenständige Ökonomie des Rückbaus und vor allem des Recyclings von Bauteilen und -stoffen noch in den Kinderschuhen steckt. In ihrem Aufsatz „Architecture to take away“⁹ versucht Keller Easterling die Ansätze einer solchen Subtraktionsökonomie, wie sie sie nennt aufzudecken und Entwicklungstendenzen aufzuzeigen. Unter anderem stellt sie eine web-basierte Plattform vor, die ähnlich zu der bekannten Plattform eBay einen virtuellen Marktplatz für recycelte Bauteile schafft. Aber insgesamt existiert noch kein Nachfragevolumen, welches genügend groß wäre, um als Entwicklungsmotor einer solchen Industrie zu dienen.

Für eine präzisere Beschreibung soll in der folgenden Untersuchung der Begriff Recycling, wie in der jüngeren deutschsprachigen Fachliteratur üblich, mit den Begriffspaaren Wieder- und Weiterverwendung, sowie Wieder- und Weiterverwertung ersetzt und weiter ausdifferenziert werden. Unter Wiederverwendung versteht man die erneute, aber gleiche Nutzung des Gegenstands in seiner neuen Nutzungsphase. Ein Beispiel hierfür wäre der Kreislauf von Pfandflaschen. Als Weiterverwendung hingegen wird die erneute Nutzung des Gegenstandes bezeichnet, wenn dieser später anders als zuvor genutzt wird. (Plastikflaschen oder Bierkästen als Bauteile einer Hauswand z.B.) Unter dem Begriff Verwertung werden alle Prozesse beschrieben, in

⁸ Vgl. (Durmisevic 2006b, S.209-212)

⁹ in (Ruby 2010)

denen das Material eines Gegenstandes weitergenutzt wird, meistens, in dem es dem eigenen Produktionsprozess – das wäre dann die Wiederverwertung – oder in dem es einem anderen Produktionsprozess zugeführt wird und dort zu Ressourcen-Einsparungen führt – das wäre dann die Weiterverwertung. Stellt man aus Altglas erneut Glasflaschen her, so handelt es sich um Wiederverwertung; nutzt man es hingegen in der Herstellung von Foamglas, so handelt es sich um Weiterverwertung. Grundsätzlich gilt, dass Prozesse, die einmal hergestellte Gegenstände/Objekte auf ihre stoffliche Ebene zurückführen, um sie zu verwerten, immer energie- und emissionsreichere Prozesse sind, als diejenigen in denen die gleichen Objekte wieder- oder weiterverwendet werden. In diesen Fällen spricht man von Downcycling.

	„Recycling“ Potential	Relevante System-Ebene	Relevante Faktoren			
			Prozesse			Eigenschaften
a1	Wiederverwendung	Bauwerk / Bauteil	Demontage Transport	Sanierung Umbau Instandsetzung	Einbau (Testabnahme)	Wandelfähigkeit, Fügung
a2	Weiterverwendung	Bauteil	Demontage Transport	Sanierung Instandsetzung Transport	Einbau	Fügung Dauerfähigkeit, Haltbarkeit / Flexibilität
b1	Wiederverwertung	Baustoff	Demontage / Rückbau Transport	Sortieren / Aufbereiten Transport	Ersatz	Homogenität Fügung
b2	Weiterverwertung	Baustoff	Rückbau Transport	Sortieren / Aufbereiten Transport	Ersatz	Homogenität Fügung Gewicht
c	thermische Verwertung	Baustoff	Rückbau Transport	Sortieren / Aufbereiten	Verbrennen	Fügung Homogenität Brennbarkeit
d	Deponie	Baustoff	Rückbau Transport	Sortieren / Aufbereiten Transport	Deponieren	Fügung Homogenität Gewicht

Abbildung 1.1. Aspekte des Recyclings im Bauwesen

Betrachtet man Gebäude unter dem Aspekt des Recyclings, so führt die Verwendung der Begriffe Wieder- und Weiterverwertung, sowie -verwendung zu einer Ausdifferenzierung der Möglichkeiten energetischer Kreisläufe auf den jeweiligen Ebenen des Gebäudes. Auf Bauwerksebene bedeutet Wieder- oder Weiterverwendung, sich über die Umnutzung oder die Transformation von Gebäuden Gedanken zu machen. Auf Bauteilebene stellt sich im Falle des Rückbaus die Frage, ob das Bauteil wieder- oder weiterverwendet werden kann. Eine Wiederverwendung ist meistens unproblematisch und hängt in erster Linie von der Restlebensdauer des Bauteils ab. Bei einer Weiterverwertung müssen meistens auch rechtliche Fragen geklärt werden. Ist das Bauteil für die neue Aufgabe schon zugelassen oder müssen aufwendige Tests beispielsweise für eine Zulassungen im Einzelfall gemacht werden? (oft bedeutet dies das Aus für ein Recyclingvorhaben). Auf Baustoffebene geht es um die Frage, wie eine Verwertung der Baustoffe nach erfolgtem Rückbau erfolgen kann: Ob das nach einem kontrollierten Rückbau wiedergewonnene Material in den Kreislauf der eigenen Herstellung zurück geführt werden kann oder ob es anderweitig genutzt werden kann, um im Herstellungsprozess eines anderen Materials Stoffflüsse zu ersetzen oder ob es zumindest thermisch verwertet werden kann.

Ökobilanz

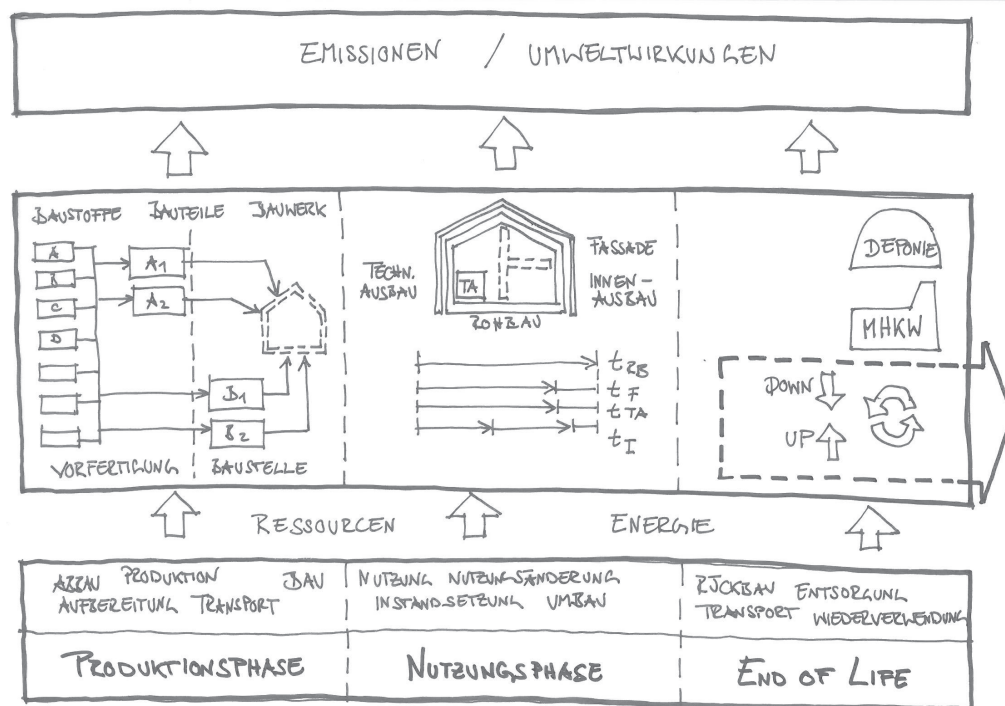


Abbildung 1.2. Der Bilanzierungsrahmen einer Ökobilanz

Als Erfinder der Ökobilanz gilt in der Literatur heute der schottische Ökonom und Biologe Patrick Geddes¹⁰, der Ende des 19. Jahrhunderts an einem Verfahren arbeitete, das als Vorläufer einer Sachbilanz gelten kann. Aber ein breiteres wissenschaftliches Interesse wird dem Thema der Bilanzierung von Stoff- und Energieströmen erst Anfang der 70er Jahre entgegen gebracht. Auslöser sind der Bericht an den Club of Rome „Die Grenzen des Wachstums“ und die kurz nach dessen Erscheinung einsetzende Ölkrise. Mit diesen zwei Ereignissen setzt ein Paradigmenwechsel ein. Das Wissen um die Endlichkeit der globalen Ressourcen wird zur Gewissheit und die Kehrseite der in den Nachkriegsjahren rapide angewachsenen Konsumgesellschaft zeigt sich immer deutlicher in Form einer wachsenden Abfall- und Umweltproblematik. Das Thema wird mit Beginn der 90er Jahre in Nordamerika und Europa wieder aufgegriffen und vorangetrieben. Steht zunächst die Bilanzierung des über alle Stufen des Lebenszyklus aufsummierten Energieaufwands im Vordergrund des Interesses¹¹, wird das Betrachtungsfeld nach und nach um weitere Aspekte der Umweltwirkung von Produkten erweitert. Ende der 90er Jahre wird das Verfahren der Ökobilanz, oder unter der englischen Bezeichnung des Life Cycle Assessments (LCA), im Rahmen der ISO-Normen ISO14040 und ISO14044 festgelegt. Heute umfasst es sämtliche Umweltwirkungen eines Produktsystems. Während in der ISO 14040 die Grundsätze und Rahmenbedingungen der vorgestellten Methode aufgezeigt werden, erläutert die ISO 14044 ihre konkrete Anwendung. Ökobilanzen finden heute ein breites Anwendungsfeld. Sie dienen sowohl der Optimierung von Produktzyklen, als

¹⁰ Vgl. (Grahl, Klöpffer, and Grahl 2009), sowie (Hildebrand 2014)

¹¹ Vgl. (Grahl, Klöpffer, and Grahl 2009, S.8)

auch der Anfertigung von Vergleichsstudien, z.B. von unterschiedlichen Verfahrenstechniken. Im Bauwesen beginnt sich das Verfahren ebenfalls zu etablieren. Im Rahmen der DGNB-Zertifizierung¹² spielt die Ökobilanzierung als Werkzeug zur Einschätzung der ökologischen Qualität eines Bauwerks eine entscheidende Rolle und in den letzten 10 Jahren ist in diesem Bereich viel daran gearbeitet worden, die Anwendung des Verfahrens weniger aufwendig und benutzerfreundlicher zu gestalten. Es sind umfangreiche Datenbanken mit generischen und spezifischen Daten zu Baustoffen und ganzen Bauteilen entstanden, die für die Bilanzierung genutzt werden können. Ebenso wurden unterschiedliche, speziell auf die Baubranche zugeschnittene Software-Werkzeuge entwickelt, deren Anwendung auch ohne großes Vorwissen möglich ist.

Die Struktur der Ökobilanz ist in der ISO 14040 in vier Verfahrensschritte gegliedert:

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
2. Sachbilanz (engl. LCI - Lifecycle Inventory Analysis)
3. Wirkungsabschätzung (engl. LCIA - Lifecycle Impact Assessment)
4. Auswertung

Der erste Schritt dient der Zieldefinition des Verfahrens, sowie der Festlegung des Untersuchungsrahmens. Es soll zum einen geklärt werden, was untersucht wird, welches Erkenntnisinteresse dahinter steht, für wen die Untersuchung durchgeführt wird und ob vergleichende Aussagen vorgesehen sind. Wichtig ist, an dieser Stelle für größtmögliche Transparenz zu sorgen. Systemgrenze, Datenquelle und -tiefe können das Ergebnis stark beeinflussen. Für die Definition des Untersuchungsrahmens muss das zu untersuchende Produktsystem ausreichend beschrieben werden. Eine Festlegung der Systemgrenzen ist notwendig. Hierfür müssen technische, so wie geographische und zeitliche Festlegungen getroffen werden. Auf welchen Teil des Lebenszyklus bezieht sich die Bilanz? Man unterscheidet die folgenden Betrachtungszeiträume: Cradle to Gate – von der Herstellung bis zum Fabrikator, Gate to Gate – der Betrachtung des unternehmensinternen Prozesses, sowie Cradle to Grave – dem kompletten Produkt-Lebenszyklus bis hin zur Entsorgung. Bei der Gebäudebetrachtung steht immer der gesamte Lebenszyklus im Fokus. Für Energie- und Stoffströme, die zu gering sind, um sie noch in die Bilanz mit aufzunehmen, müssen Abschneideregeln festgelegt werden. Ebenso sind Prozesse problematisch, bei denen neben dem untersuchten Produkt weitere Produkte entstehen. Hier muss entschieden werden, wie die Stoff- und Energieströme aufgeteilt werden. Ein Problem, das als Allokationsproblem in der Fachliteratur beschrieben und für das mehrere Lösungsansätze diskutiert werden. Da der Recyclingprozess ebenfalls unter diesen Aspekt der Allokation fällt, soll weiter unten hierauf nochmals im Detail eingegangen werden. Die funktionelle Einheit legt die Bezugsgröße der Bilanz fest. Sie kann sich sowohl auf ein Produkt oder eine Dienstleistung beziehen. Wichtig ist die Bezugnahme auf eine konkrete Zeitein-

¹² Im Rahmen des von der Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) und des Bundes entwickelten Systems zur Zertifizierung von Nachhaltigkeit im Bauwesen, werden nach einem vorgegebenen Kriterienkatalog fünf Qualitäten eines Bauwerks erfasst und mit Punkten bewertet. Zu den herkömmlichen drei Kriterien, der ökologischen, soziokulturellen und ökonomischen Qualität, kommen die Prozessqualität und die technische Qualität hinzu.

heit, um den Referenzfluss festlegen zu können. Der Referenzfluss ist die Masse an Produkt, die der funktionellen Einheit entspricht. Die Frage, welche Daten in welcher Qualität zur Verfügung stehen, ist entscheidend für die Tiefe und Aussagekraft der Untersuchung. Da es bei der Menge an benötigten Daten, oft nicht immer möglich ist, auf spezifische Daten eines bestimmten Produkts zuzugreifen, muss in diesen Fällen mit generischen Daten gearbeitet werden, wie sie Datenbanken zur Verfügung stellen. Wenn für manche Prozesse und Produkte auch diese Daten nicht zur Verfügung stehen, kann die Lücke über plausible Annahmen geschlossen werden. Entsprechend unterschiedlich kann im Endeffekt die Datengrundlage (und die Auswertung) einer Bilanz aussehen.

Im zweiten Schritt, der Sachbilanz, werden alle Stoff- und Energieströme innerhalb des zuvor bestimmten Untersuchungsrahmens analysiert. Hierfür werden die Stoffmassen und die Verarbeitungs-, sowie Transportprozesse eines Produktsystems erfasst und ausgewertet. Das Ergebnis einer Sachbilanz beschreibt die Menge und die Art der Emissionen, die eine zuvor bestimmte funktionelle Einheit eines Produktes nach sich zieht, den notwendigen Verbrauch an Ressourcen hierfür, sowie den kumulierten Energieaufwand, kurz KEA genannt. Der kumulierten Energieaufwand wird getrennt nach erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie ausgewiesen.

Der dritte Schritt ist die Wirkungsabschätzung, die als „Bestandteil der Ökobilanz, [...] dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlaufe des Lebensweges des Produktes dient.“¹³ In diesem Teil einer Ökobilanz werden die erhobenen Daten auf ihre Auswirkungen in definierten Wirkungskategorien untersucht. Wirkungskategorien sind Klassen, die wichtige Umweltthemen repräsentieren, wie z.B. den Treibhauseffekt. Wirkungsindikatoren sind die für eine Wirkungskategorie maßgebliche, messbare Änderung, z.B. im Falle des Treibhauseffekts, eine Verstärkung der Infrarotstrahlung. Gemessen wird dieser Effekt, in dem die Auswirkungen unterschiedlicher Emissionen, auf eine Referenzsubstanz bezogen, beschrieben werden. Das ist der sogenannte Charakterisierungsfaktor. Das Treibhauspotential eines emittierten Gases wird z.B. als CO₂-Äquivalent beschrieben. Für eine bessere Verständlichkeit der Auswertung können weitere Referenzwerte eingeführt werden, so z.B. der durchschnittliche Energieverbrauch eines Bundesbürgers oder das Äquivalent in Form von gefahrenen Autokilometern. Welche Wirkungskategorien aufgezeigt werden müssen, lässt die Norm offen. Allerdings hat sich der Nachweis folgender Wirkungskategorien bei Ökobilanzen etabliert:

- das Versauerungspotential (AP) – als Schwefeldioxid-Äquivalent (SO₂-Äq.)
- das Eutrophierungspotential (EP)¹⁴ – als Phosphat-Äquivalent (PO₄-Äq.),
- das Photochemische Oxidationsbildungspotential (POCP)¹⁵ – als Ethen-Äquivalent (C₂H₄-Äq.),

¹³ Auszug der EN ISO 14044 in (Grah, Klöpffer, and Grah 2009, S.196)

¹⁴ Die Eutrophierung beschreibt die Anreicherung von Nährstoffen an einem Standort innerhalb eines Ökosystems. Allgemein wird Eutrophierung als Überdüngung bezeichnet. Es wird zwischen terrestrischer und aquatischer Eutrophierung unterschieden.

¹⁵ Bodennahe Ozonbildung – wird gemeinhin als Sommersmog bezeichnet und wirkt in höheren Konzentrationen toxisch auf den Menschen.

das Ozonabbaupotential (ODP) – als FCKW 11 (CFC-11, R11)-Äquivalent (R11-Äq.),
und das Treibhauspotential (GWP) – als Kohlendioxid-Äquivalent (CO₂-Äq.).

Die drei erstgenannten Kategorien sind lokaler Natur. Sie beschreiben lokale Auswirkungen. Die zuletzt genannten beschreiben hingegen globale Auswirkungen. Der kumulierte Energieaufwand, als Maß für den Energiebedarf pro funktionale Einheit, zählt nach den ISO-Kriterien nicht als Wirkungskategorie und taucht daher in der Norm nicht als fester Bestandteil der Wirkungsabschätzung auf¹⁶. Trotzdem hat sich dieser Wert als fester Bestandteil einer Ökobilanz etabliert. In der sogenannten Sachbilanzstudie, einer Bilanz unter Verzicht auf den Schritt der Wirkungsabschätzung, nimmt er sogar eine zentrale Rolle ein.

Im Rahmen einer Ökobilanz ist die Frage nach dem Recycling von Teilen des untersuchten Produkts in gewisser Weise heikel. Da es sich meistens um Prozesse handelt, die die Systemgrenzen des untersuchten Systems überschreiten. Entweder tauchen in dem Prozess Produkte auf, die recycelt wurden oder Produkte verlassen das System, die mit aller Wahrscheinlichkeit recycelt werden bzw. das Potential haben recycelt zu werden. Es handelt sich in diesem Fall um ein sogenanntes Allokations-Problem. Unterschiedliche Ansätze werden in der Fachliteratur erwähnt, wie mit dieser Frage umgegangen werden kann. Es müssen Regeln für die Allokation aufgestellt werden. Dabei sind unterschiedliche Ansätze denkbar. Der Aufwand für die Aufbereitung und Wiederinstandsetzung eines Materials kann dem Produktzyklus zugerechnet werden, aus dem es stammt (cut-off-Ansatz) oder demjenigen Zyklus zugeordnet werden in dem es weiter- oder wiederverwendet oder -verwertet wird (substitution-Ansatz)¹⁷. Die Lasten und Gewinne können auch nach der sogenannten 1:1 Regel zu gleichen Teilen auf die beiden Systeme aufgeteilt werden¹⁸. Allerdings ist dafür Voraussetzung, dass beide Systeme bekannt sind. Das Problem der Allokation kann umgangen werden, wenn der Recyclingprozess als closed-loop Recycling (CLR) dargestellt werden kann, das heißt, wenn der Recyclingprozess innerhalb des gleichen Produktsystems abgebildet werden kann.

In der nachfolgenden Studie wurden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt. Für alle Recyclingprozesse auf Ebene der Bauteile, also der Wieder- oder Weiterverwendung wird von einem closed-loop Recycling (CLR) ausgegangen. Für alle Prozesse auf stofflicher Ebene, also der Wieder- oder Weiterverwertung von Baumaterialien nach dem Rückbau, wird das Substitutionsverfahren genutzt. Die potentielle Einsparung, die durch Recycling erzielt werden kann, wird dem abgebenden System zugute gerechnet¹⁹.

Wie oben erwähnt, ist es heute Dank der großen Fortschritte im Bereich von

16 Vgl.(Grah, Klöpffer, and Grah 2009, S.239ff)

17 Vgl.(Hildebrand 2014, S.58)

18 Vgl.(Grah, Klöpffer, and Grah 2009, S.113)

19 Das entspricht der Struktur der zur Verfügung stehenden Datensätze der ÖKOBAU. DAT. In den ausgewiesenen Modulen werden unter dem Begriff Entsorgung die Aufwände für den Rückbau, sowie die potentiellen Gewinne durch mögliches oder wahrscheinliches Recycling, sowie durch die thermische Verwertung zusammengefasst.

anwendungsorientierten Bilanzierungsinstrumenten, annähernd möglich geworden, Ökobilanzen entwurfsbegleitend durchzuführen und so in einem frühen (für die Bilanz entscheidenden) Stadium des Entwurfs reagieren zu können. Trotzdem bleibt die große Komplexität des Verfahrens ein Problem. Die Aussage einer erstellten Bilanz ist nur mit Wissen um die gesetzten Randparameter zu bewerten. Eine unterschiedliche Datengrundlage, anders gesetzte Systemgrenzen, etc können das Ergebnis auf den Kopf stellen. Eine weitere Schwierigkeit in der Anwendung des Verfahrens liegt in der großen Bandbreite und Unübersichtlichkeit der Ergebnisse einer Wirkungsanalyse. Nicht immer gelingt es dem Verfasser einer Bilanz, diese in der anschließenden Auswertung zusammenzufassen. Da es erklärtes Ziel des Verfahrens ist, alle Umweltwirkungen eines Produkts zu erfassen, ist das Ergebnis entsprechend komplex und vieldeutig. Keiner der Versuche, die unterschiedlichen Ergebnisse mittels eines einzigen Charakterisierungsmodells zusammenzuführen, hat sich bislang durchsetzen können. Für die wissenschaftliche Beschreibung von Herstellungsprozessen ist das sicherlich kein Problem. Für die Übersetzung in Entwurfsstrategien allerdings, müssen die Ergebnisse deutlich vereinfacht werden. Die anschließende Studie beschränkt sich daher auf die Betrachtung der kumulierten Primärenergiewerte.

Das System Haus

Das Haus stellt sich für ein Denken in Kreisläufen eher als System, denn als Objekt dar. Es lässt sich in die Ebenen Bauwerk, Bauteile und Baustoffe unterteilen. Das Bauwerk stellt die höchste Systemebene dar, die den Zusammenhang der Bauteile untereinander darstellt und trotzdem nicht materiell an sie gebunden ist. Einzelne Bauteile können ausgetauscht werden, ohne dass die Identität des Systems verloren geht. (Selbst wenn alle Bauteile ausgetauscht würden, was einem kompletten Abriss und anschließendem Neubau gleichkäme, die Identität des Systems bliebe trotzdem erhalten.) Aus dieser Perspektive kann ein Haus auch als Kreislauf aufeinanderfolgender Lebenszyklen beschrieben werden. Auf dieser Grundannahme basieren die Überlegungen dieser Studie.

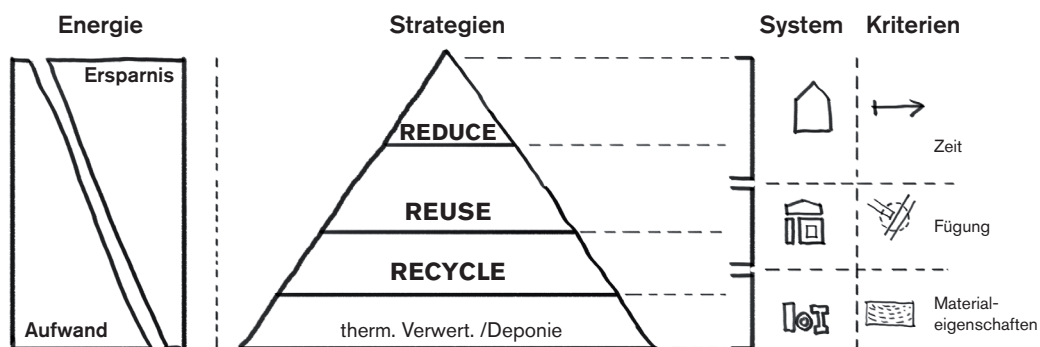


Abb. 1.3: Die Pyramide zeigt, wie der notwendige Prozessaufwand, entlang der Reihe Reduce – Reuse – Recycle steigt, welche Ebene des Hauses betroffen ist und welche Kriterien ausschlaggebend sind.







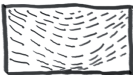
Systemebene	Kriterien	Fragen
 Bauwerk	 Zeit	a. Länge des Zeitintervalls? b. Ende?
 Bauteile	 Fügungen	a. Aufwand für den Aufbau / Rückbau Prozess? b. lösbar oder nicht?
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>  Rohstoffe </div> <div>  Komponenten </div> </div> Baustoffe / Baumaterialien	 Material- eigenschaften	a. Wie hoch ist das energetische (Start-) Kapital? b. Wie pflegeaufwendig ist es?

Abb. 1.4: Die Tabelle zeigt, welche Kriterien auf welcher Systemebene entscheidend sind für die entsprechenden ‚R-Strategien‘ und von welchen entwurfsrelevanten Fragen sie abhängen

Im Folgenden sollen die drei Gebäudeebenen näher erläutert werden.

Baustoffe sind das Material, das zu Bauteilen gefügt wird. Die Summe der Baustoffe stellt den materiellen Fundus dar aus dem ein Gebäude besteht: Material, Bauteilkomponenten, alle zu verbauenden Bauprodukte. Der Löwenanteil der grauen Energie, die in der Herstellung eines Bauwerks steckt, steckt in der Produktion von Baustoffen. Die Materialeigenschaften entscheiden über die technische Lebensdauer eines Baustoffs und das Potential seiner stofflichen Verwertung nach dem Rückbau, sei es in thermischer Form (Verbrennung) oder als Bestandteil eines weiteren stofflichen Herstellungsprozesses (Recycling bzw. Downcycling).

Bauteile sind aus Baustoffen gefügt und bilden Funktionszusammenhänge / Funktionseinheiten innerhalb des Systems Bauwerk. Ein Bauteil wird über seine materiellen Bestandteile (Baustoffe) definiert und über seine Fügungsqualitäten beschrieben. Entscheidend für die Bewertungsgrenze ist die Art und Weise der Fügung untereinander. Bauteilkomplexe oder -gruppen entstehen, wenn einzelne Bauteile unlösbar miteinander verbunden sind. Sie besitzen an ihren Grenzen lösbare Fügungen (bzw. Fügungen, deren Rückbaubarkeit eindeutig beschrieben werden kann).

Das Bauwerk stellt die höchste Ebene in diesem System dar. Zum einen ist es die Summe aller Bauteile und Bauteilgruppen. Zum anderen ist es Mehr als die Summe dieser Teile: Es stellt die Einheit Haus auf allen Bedeutungsebenen her. In diesem Zusammenhang entstehen z.B. erst kulturelle Werte, die sich dann wiederum in den einzelnen Bauteilen spiegeln. Das Haus ist ein kulturelles Artefakt, das in historischen, ästhetischen, sozialen und funktionalen Zusammenhängen steht und sich zu diesen verhält. Das Bauwerk stellt den Zusammenhang der Bauteile untereinander her und liefert den Sinnzusammenhang für jedes einzelne Bauteil.

Entscheidend für eine energetische Bewertung des Bauwerks ist die Dauer seines Lebenszyklus. Sie entscheidet über das Verhältnis in dem die in Bauteilen gefügten Baustoffe zu ihrem Herstellungsaufwand stehen.

Abb.1.5 zeigt, wie der energetische Aufwand des gesamten Bauwerks sich aus den Aufwendungen der einzelnen Systemkomponenten zusammensetzt, entsprechend ihrer unterschiedlichen technischen Lebensdauer

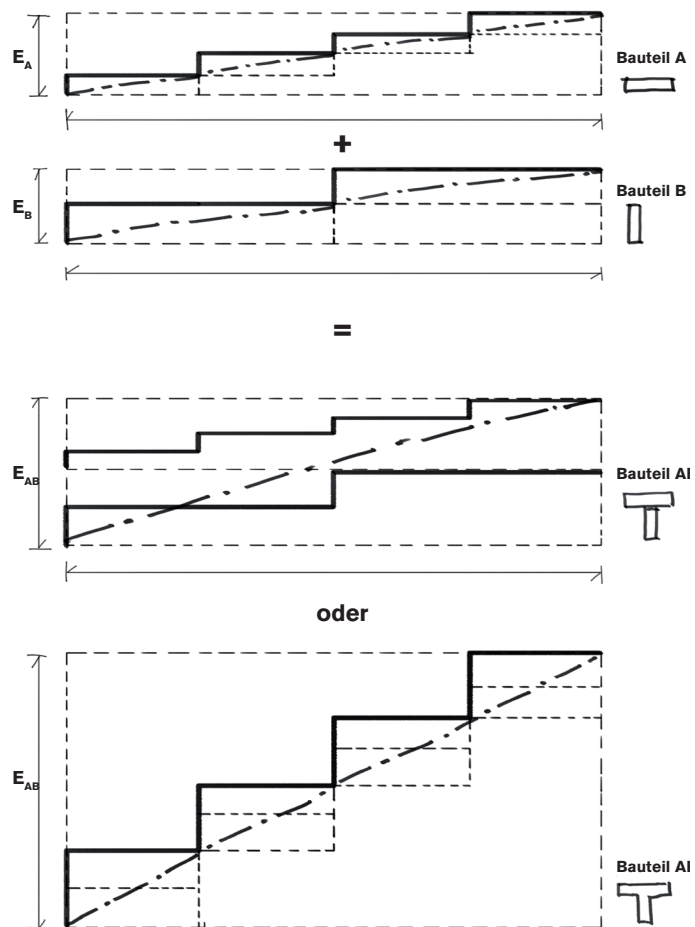
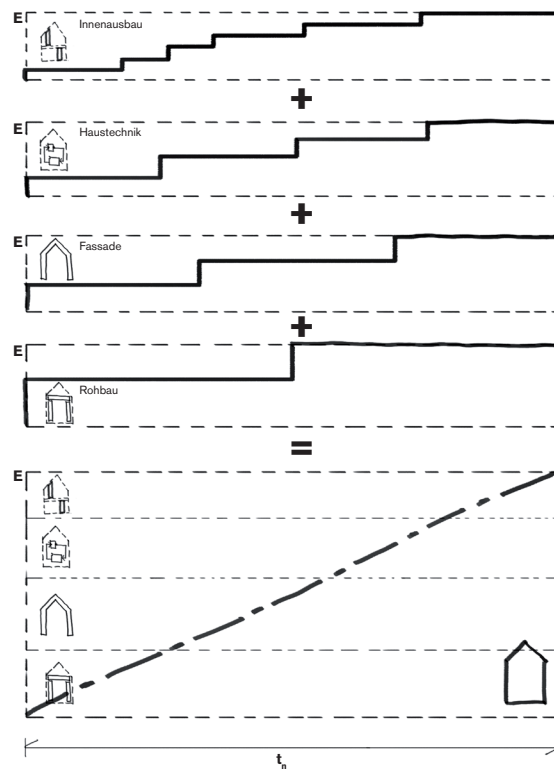


Abb. 1.6 stellt dar, welchen Unterschied es macht, auf welche Art zwei Bauteile miteinander gefügt werden. Die Fügungsart ist entscheidend für die Effizienz mit der graue Energie eingesetzt wird

Betrachtet man das System unter dem Aspekt des Recyclings, so führt die Verwendung der Begriffe Wieder- und Weiterverwertung, sowie -verwendung zu einer Ausdifferenzierung der Möglichkeiten energetischer Kreisläufe auf den jeweiligen Systemebenen des Gebäudes. Auf Bauwerksebene bedeutet Wieder- oder Weiterverwertung, sich über die Umnutzung oder die Transformation von Gebäuden Gedanken zu machen. Auf Bauteilebene stellt sich im Falle des Rückbaus die Frage, ob das Bauteil wieder- oder weiterverwendet werden kann. Eine Wiederverwendung ist meistens unproblematisch und hängt in erster Linie von der Restlebensdauer des Bauteils ab. Bei einer Weiterverwendung müssen meistens auch rechtliche Fragen geklärt werden. Ist das Bauteil für die neue Aufgabe schon zugelassen oder müssen aufwendige Tests beispielsweise für eine Zulassung im Einzelfall gemacht werden? (Oft bedeutet dies das Aus für ein Recyclingvorhaben). Auf Baustoffebene geht es um die Frage, wie eine Verwertung der Baustoffe nach erfolgtem Rückbau erfolgen kann: Ob das nach einem kontrollierten Rückbau wiedergewonnene Material in den Kreislauf der eigenen Herstellung zurückgeführt werden kann oder ob es anderweitig genutzt werden kann, um im Herstellungsprozess eines anderen Materials Stoffflüsse zu ersetzen oder ob es zumindest thermisch verwertet werden kann.

Wie altert das System Haus? Die Frage nach dem Altern stellt sich auf den einzelnen Systemebenen des Bauwerks unterschiedlich dar.

Auf Baustoffebene tritt der Alterungsprozess als Verschleiss auf. Im zweiten Hauptsatz der Thermodynamik wird die physikalische Grundlage hierfür gelegt. Alle energetischen Systeme streben auf einen Zustand zunehmender Entropie und damit zunehmender Unordnung hin. Dies führt im Endeffekt zu materiellem Versagen, welches nur durch Ersatz behoben werden kann.

Auf Bauteilebene sieht die Definition von Altern anders aus. Ein Bauteil wird über seine Gebrauchstauglichkeit definiert. Bauteile besitzen eine technische Lebensdauer, nach deren Ablauf sie nicht mehr gebrauchstauglich sind und ausgetauscht werden müssen. Werden Bauteile unlösbar miteinander gefügt, so bilden sie Bauteilgruppen. Die technische Lebensdauer dieser Bauteilgruppen entspricht dem Bauteil mit der geringsten Lebensdauer innerhalb der Gruppe. Die technische Lebensdauer eines Bauteils hängt wiederum von einer ganzen Reihe an Faktoren ab, wie z.B. von der Qualität der Verarbeitung, von den jeweiligen Umweltbedingungen, sowie von der Nutzungsintensität, etc. In einer Internationalen Norm²⁰ werden diese Faktoren näher definiert, so dass die spezifische konkrete Lebensdauer eines Bauteils bestimmt werden kann. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Studien, in denen statistische Angaben zur Lebensdauer von Bauteilkategorien gemacht wurden.

Auf Bauwerksebene ist die Frage nach dem Altern nicht mehr so einfach zu beantworten. Als Summe seiner Bauteile ist natürlich auch das Bauwerk einem gemeinsamen Alterungsprozess unterworfen. Gleichzeitig kann man sich aber auch darauf berufen, dass ja jedes Bauteil austauschbar ist und das Gesamtsystem aller Bauteile

20 ISO 15686 Hochbau und Bauwerke – Planung der Lebensdauer – Teil 8: Referenznutzungsdauer
– Die Faktoren dieser Norm sind unterteilt in solche, die die Bauteilqualität beschreiben sollen (Qualität der Komponenten, Qualität der Konstruktion, Ausführungsqualität) und solche, die zum Einen den Umgebungsbedingungen (Innen- und Ausseneinflüsse) und zum Anderen den Gebrauchsbedingungen (Nutzungsintensität, Instandhaltungsqualität) geschuldet sind.

so ständig erneuert wird. Theoretisch kann so natürlich jedes Bauwerk mit entsprechendem Aufwand immer weiter am Leben gehalten werden. Allerdings steigt der Aufwand zusehends. Man denke nur an den Aufwand für die Instandhaltung z.B. des Kölner Doms! Am Beispiel des Baudenkmals lässt sich ein weiterer Aspekt des Alterns von Bauwerken diskutieren: die Frage des Zusammenhangs von Wertverlust und Alter.

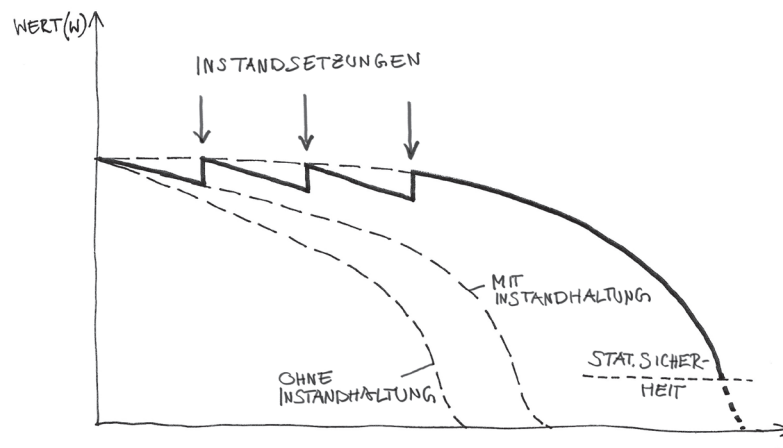


Abb. 1.8: Wertsverlustkurve nach Meyer-Meierling (Christen and Meyer-Meierling 1999)

Eine Methode, diesen Zusammenhang darzustellen, ist das Erstellen von Wertsverlustkurven oder Entwertungskurven, wie sie in der Immobilienökonomie angewandt werden. Abb.1.8 zeigt einen solchen Kurvenverlauf, wie er dem Bericht zum Forschungsprojekt „Optimierung von Instandsetzungszyklen und deren Finanzierung bei Wohnbauten“ entnommen ist. Die Grafik zeigt 3 Kurven: den Alterungsverlauf ohne Instandhaltungsmaßnahmen, den Alterungsverlauf mit Instandhaltungsmaßnahmen mit einer weniger schnell abfallenden Kurve und den Alterungsverlauf mit zusätzlichen periodischen Instandsetzungsmaßnahmen.

Vor dem Eintritt der endgültigen Gebrauchsuntauglichkeit eines Bauwerks, steht meistens sein Leerstand, Zeichen eines massiven Wertverlusts. Das Bauwerk ist obsolet geworden. Dieser Wertverlust kann sehr unterschiedliche Gründe haben. Es können tatsächlich funktionale Probleme sein – seien sie technischer oder räumlich-organisatorischer Natur. Es können aber auch Gründe sein, die von Außen kommen: ökonomische Überlegungen oder gesellschaftliche Wertschätzung bzw ihr Gegenteil. In den seltensten Fällen ist die gealterte physische Substanz eines Bauwerks Anlass für seinen Abriss. Im Gegenteil: manchmal ist es ja sogar der ‚Alterswert‘,²¹ der ein Gebäude erst wertvoll macht.

Ein Beispiel dafür, wie der systemische Ansatz erweitert werden kann und das System Haus als Teil des übergeordneten Systems, das die gesamte gebaute Umwelt

21 Vgl. Alois Riegl, *Der moderne Denkmalkultus, sein Wesen und seine Entstehung in* (Moravánszky and Gyöngy 2003, S.402)

abbildet beschrieben werden kann, erläutert N.J. Habraken sehr anschaulich in seinem Buch „The Structure of the Ordinary“²².

Dort legt er dar, wie Kontrolle auf unterschiedlichen Ebenen ausschlaggebend ist für die Entstehung und vielmehr noch die Transformation gebauter Formen bzw. unserer gebauten Umwelt als Ganzes. Entscheidend für die Definition dieser Ebenen ist für ihn die Frage, wer Kontrolle über ihre Gestaltung ausübt und ob diese beim Wechsel in eine andere Ebene auf einen anderen Akteur übergehen kann. So baut er ein System aus Ebenen auf, das vom Straßennetz über das Gebäude, die Raumteilung, die technische Ausrüstung, die Möbel bis zu den Gebrauchsgegenständen des Alltags reicht. Es ist hierarchisch aufgebaut, so dass höher liegende Ebenen die darunterliegenden dominieren.

Bemerkenswert an seiner Beschreibung ist zum einen die konsequente Beschreibung des Gebäudes als ein System sich gegenseitig beeinflussender Ebenen und zum anderen dessen Einbindung in die höher liegende Ebene des Stadtraums und die tiefer liegende des alltäglichen Gebrauchs. Das Gebäude als Entität löst er so absichtlich auf. Das ist aus seiner Sicht nachvollziehbar und richtig. Habraken nimmt absichtlich die Position des neutralen Betrachters ein. Sein Interesse gilt dem gebauten Raum als Ganzem und seinen strukturellen Gesetzen. Er will sich nicht dazu verleiten lassen, die Perspektive eines einzelnen Akteurs einzunehmen. Architektonische Identität als übergeordneter konstituierender Zusammenhang hat in seiner Beschreibung keinen Platz. Dabei stellt sich gerade vor dem Hintergrund der von ihm vertretenen These, dass Wandel und Permanenz sich gegenseitig bedingen²³, die Frage, welche Teile des Systems sorgen für Permanenz und welche ermöglichen den Wandel. Habraken weist in seiner Einleitung daraufhin, welche entscheidende Rolle hierbei die Ebene der Betrachtung spielt²⁴. So ist, was auf der Ebene des einzelnen Hauses konstituierend sein mag auf der Ebene des Stadtraums eine Figur des Wandels.

22 *wie erwähnt, hat sich auch Durmisevic in ihrer Arbeit mit dem Ansatz von Habraken auseinandergesetzt*

23 *„... the very durability and transcendence of built environment is possible only because there is continuous change“ (Habraken and Teicher 2000, S.7)*

24 *Vgl.(Habraken and Teicher 2000, S.6ff)*

Was ist die ETA-Fabrik?

Das Forschungsprojekt ETA-Fabrik soll in der anschließenden Studie als konkretes Fallbeispiel dienen. Das Kürzel ETA steht für Energieeffizienz-, Technologie- und Anwendungszentrum. Es handelt sich dabei um ein Forschungs- und Demonstrationsobjekt, das gemeinsam von Maschinenbauingenieuren, Bauingenieuren und Architekten der TU Darmstadt entwickelt wurde und dort auf dem Campus Lichtwiese zu stehen kommen soll.



Abbildung 2.1.: Ansicht von Norden her am Eingang des Campus Lichtwiese der TU Darmstadt

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technik (BMWi) geförderten Forschungsprojektes soll eine repräsentative industrielle Produktionsanlage (in diesem Fall handelt es sich um eine Prozesskette aus der Metallbearbeitung) unter Einbeziehung aller Teilsysteme, von den einzelnen Maschinen bis hin zur Gebäudehülle unter Energieeffizienzaspekten analysiert und optimiert werden. Erklärtes Ziel des Projekts ist es, über die Verknüpfung der Energiekreisläufe der einzelnen Teilsysteme untereinander die so entstehenden Synergieeffekte auszuschöpfen. Bis zu 40% des herkömmlichen Energieverbrauchs sollen so eingespart werden.

Für die Konzeption des Bauwerks waren zwei Grundüberlegungen ausschlaggebend:

1. Für die Verknüpfung von Gebäude und maschineller Prozesskette ist eine an ihren Innen-, wie Aussenflächen thermisch-aktive Gebäudehülle entwickelt worden, die in der Lage ist, Wärme aus ihrer unmittelbaren Umgebung aufzunehmen und an ein Speichersystem abzugeben. So kann sie im Zusammenspiel mit der Prozesskette als Wärmesenke für Niedrigtemperaturabwärme dienen. Darüber hinaus kann sie zur Erzeugung von Kaltwasser durch Wärmeabgabe an die Umgebung sowie zur solarthermischen Wärmeerzeugung genutzt werden.

2. Vor dem Hintergrund der im Durchschnitt relativ kurzen Standzeiten von Industriebauten, sollten Tragwerk und Hülle als 'kreislaufgerechte' Konstruktion entwickelt werden. Hierzu wurden die folgenden Schritte unternommen:

1. Das Tragwerk wurde aus großformatigen modularen Elementen aufgebaut, so dass sich die Halle schrittweise erweitern bzw. rückbauen lässt. Bei einem Rückbau ist die Wiederverwendung ganzer Module möglich.

2. Der Wandaufbau ist so homogen wie möglich gehalten, so dass der saubere Rückbau unproblematisch ist. Entwickelt wurde eine Art Sandwichkonstruktion aus unterschiedlichen Betonwerkstoffen. Die Tragstruktur aus Betonfertigteilen wird mit einer Dämmschicht aus Mineralschaum auf Zementbasis 'frisch auf fest' befüllt. Die vorgehängten Fassadenpaneele bestehen aus ultrahochfestem Beton. Innen-, wie Aussenflächen sind über Kapillarrohrmatten thermisch aktivierbar.

Die Grundstruktur der Halle mit ihren modularen Wand- und Dachelementen wurde so entwickelt, dass eine Übertragbarkeit auf eine konventionelle Industriehalle gegeben ist. Der gewählte Büro-Ausbaustandard, der repräsentative Seminarraum, sowie die verglasten Fassaden an den Stirnseiten der Halle sind ihrer Nutzung als Universitätsbau geschuldet und könnten je nach Anwendung und Budget variiert werden.

Alle Forschungsaspekte des Projekts werden nach Abschluss der Bauphase überwacht und evaluiert. Die Forschungsergebnisse sollen in der Modellfabrik einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Neben ihrer Funktion als Ausbildungsstätte junger Wissenschaftler der TU Darmstadt in den Bereichen der energieeffizienten und nachhaltigen Produktion soll sie ein Zentrum werden für den Innovationstransfer in die Industrie.

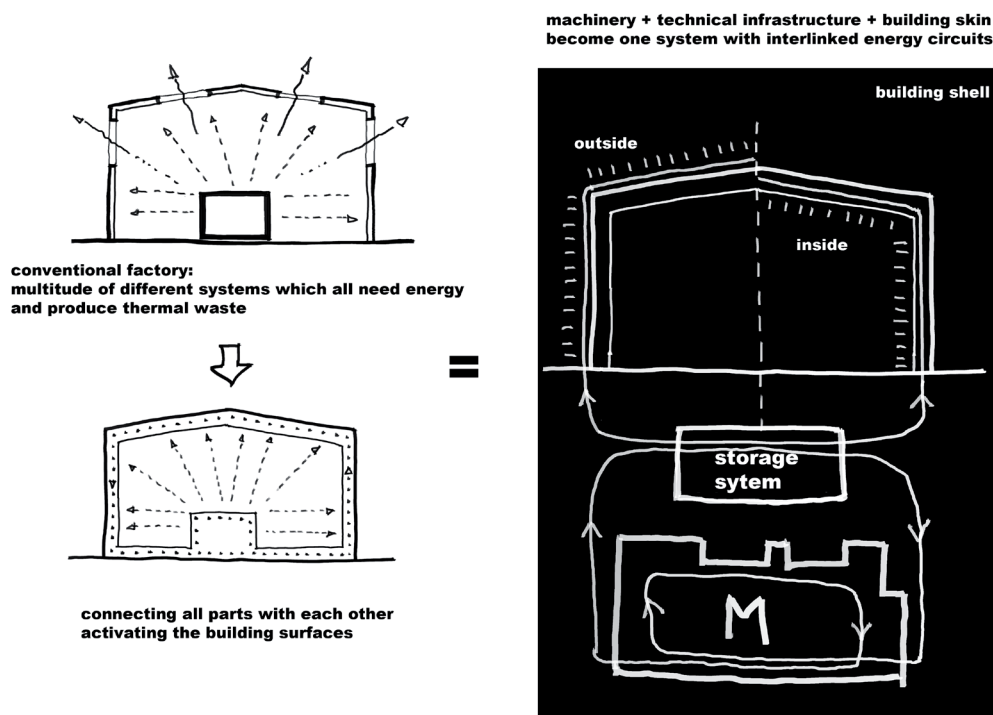


Abbildung 2.2: 1. Festlegung: thermischaktive Hülle und Verknüpfung der Energiekreisläufe

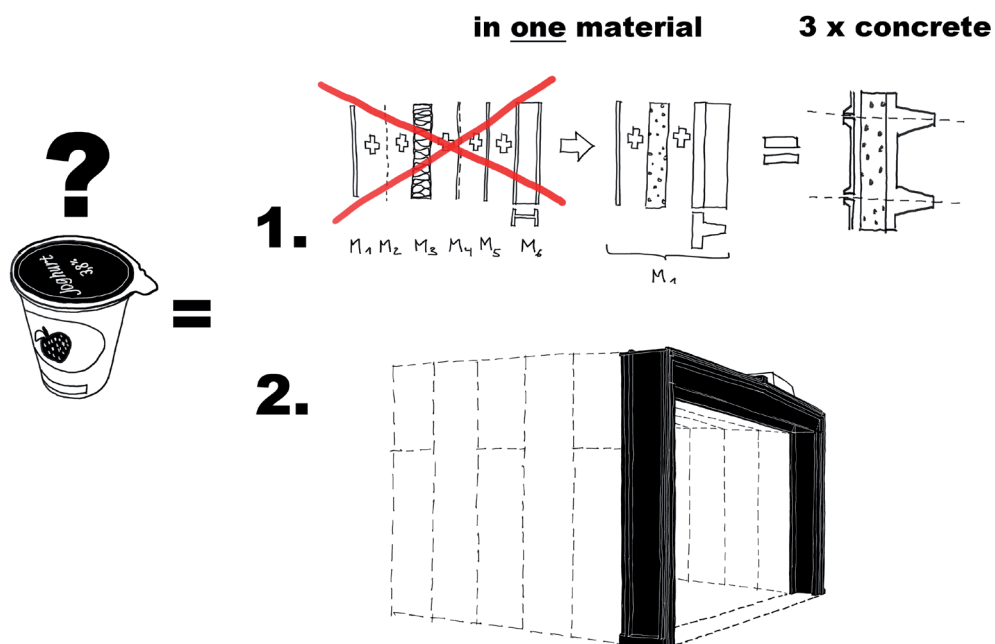


Abbildung 2.3: 2. Festlegung: homogener Wandaufbau und modulare Struktur sollen eine recyclingfreundliche Konstruktion ermöglichen.

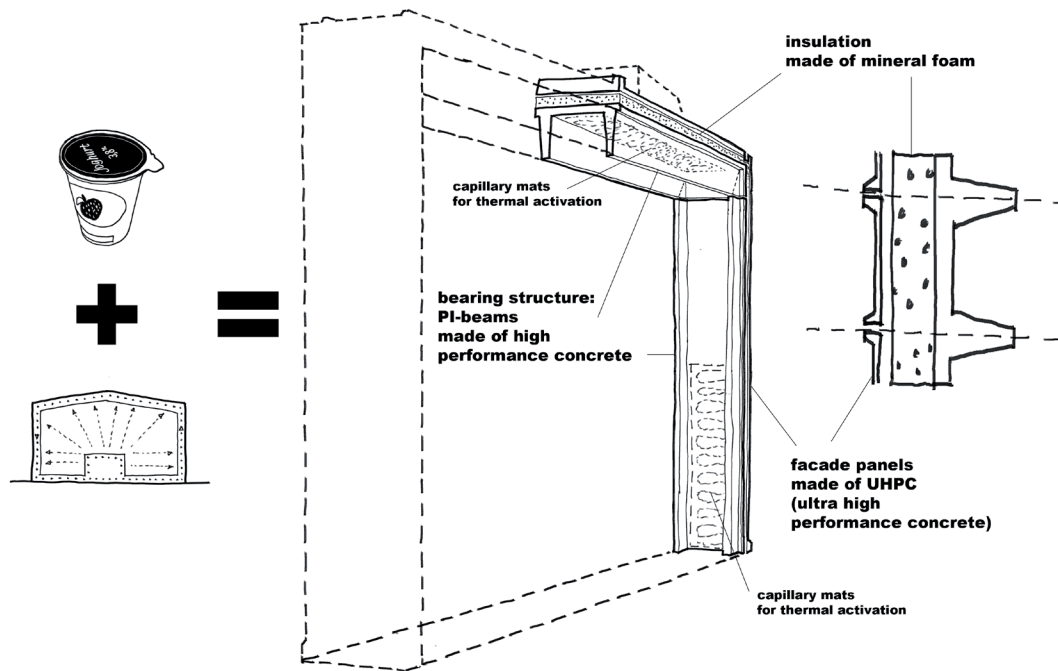


Abbildung 2.4: Aus den Festlegungen 1 und 2 ergibt sich das Modul des ETA-Tragwerks

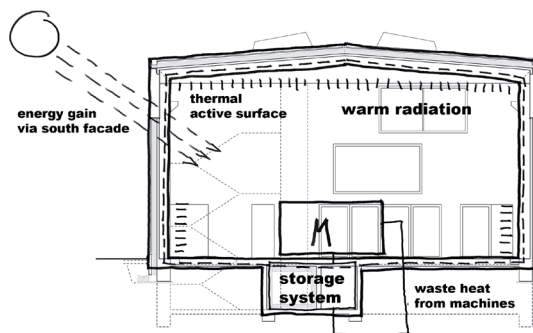
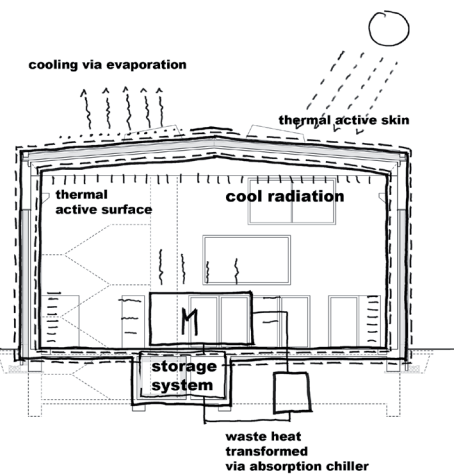
winter**summer**

Abbildung 2.5.: Energiekonzept ETA im Winter und im Sommer

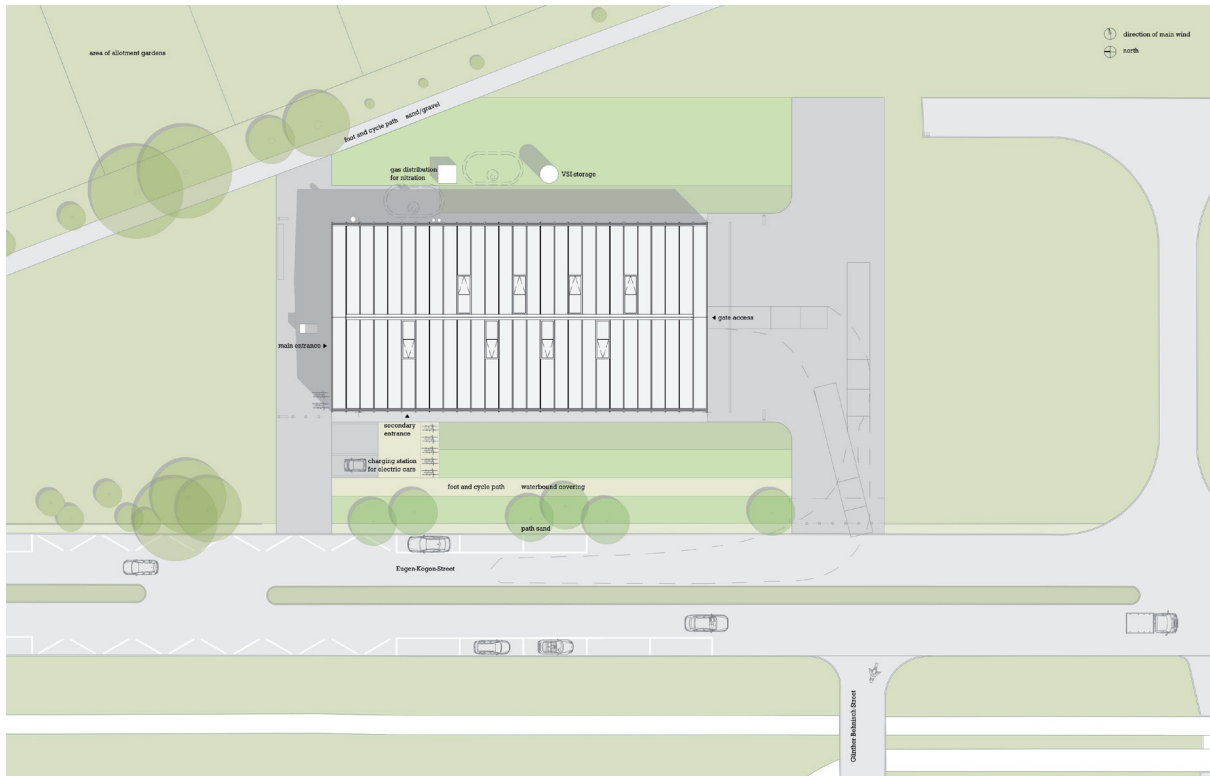


Abbildung 2.6: Lageplan

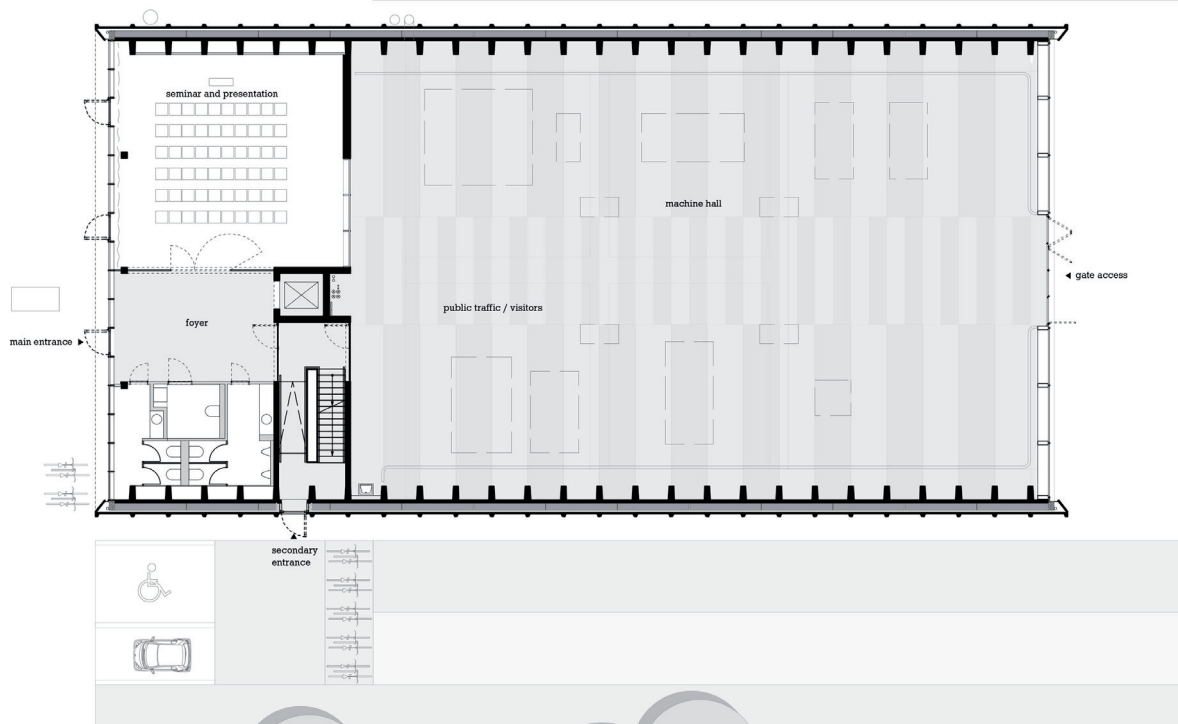


Abbildung 2.7: Grundriss EG

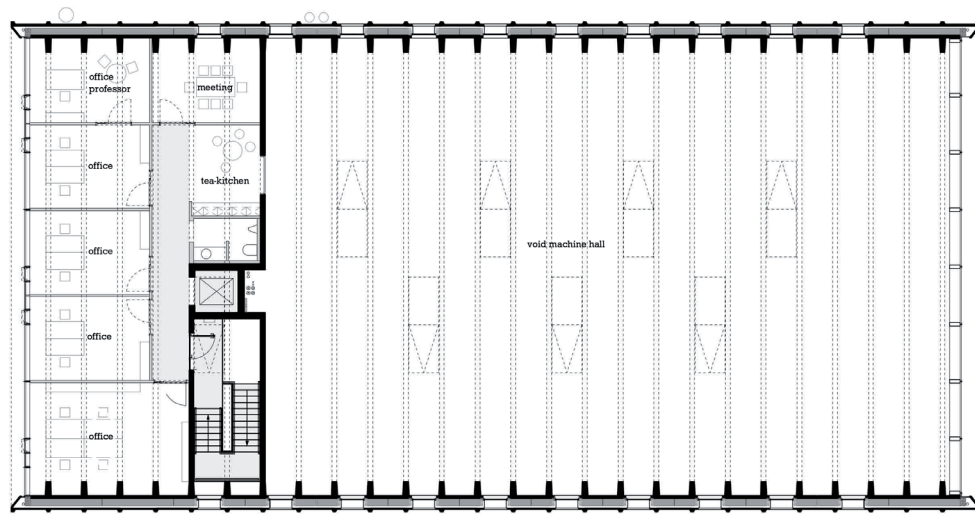


Abbildung 2.8: Grundriss OG

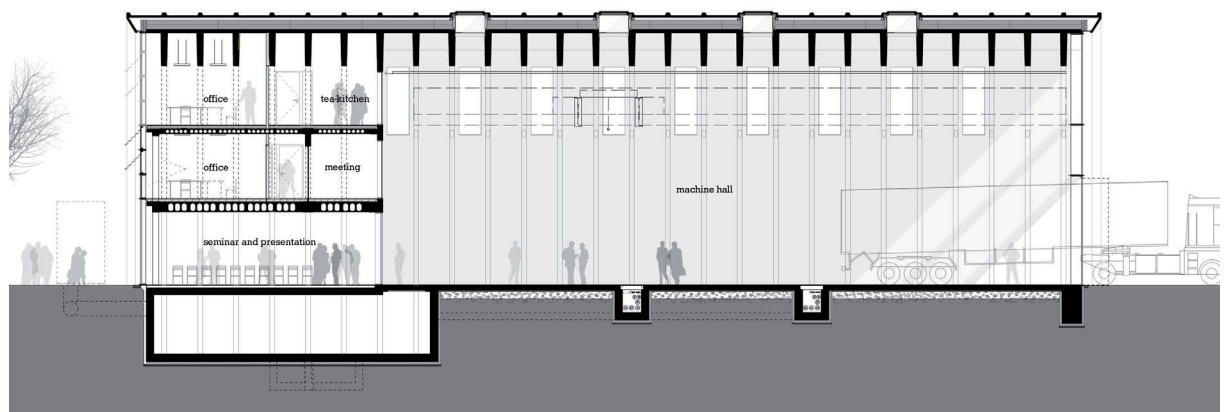


Abbildung 2.9 Längsschnitt



Abb.2.10



Abb.2.11

Gut zu sehen sind die einzelnen, raumhohen Wandmodule der Fabrik in Abb. 2.11, auf der eine Innenaufnahme des Rohbaus mit noch offenen Bauteilfugen zu sehen ist. Abb.2.12 zeigt die Struktur des Zementschaums der zur Dämmung von Wand und Dach dient. Die Büroetagen wurden auf der Nordseite als Tisch in die Halle eingestellt (Abb.2.13.).

Abb.2.12



Abb.2.13



Abb.2.14



Abb.2.15

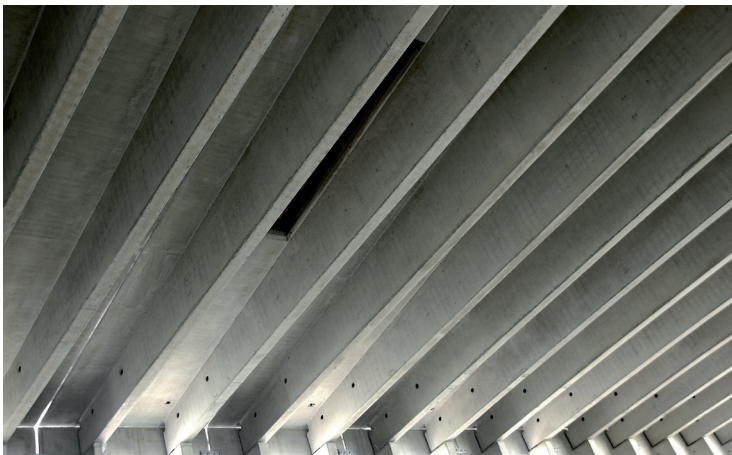


Abb.2.16

Die Fassade der Fabrik besteht aus 10m hohen, 1,5m breiten und 5 cm tiefen Fertigteilelementen aus ultrakochfestem Beton. Abb. 2.15 zeigt ein Eckdetail der Fassade. Das Tragwerk aus nebeneinanderliegenden PI-Platten entwickelt eine, den Innenraum nachhaltig prägende Struktur, wie in Ab. 2.16 und Abb.2.14 gut zu sehen ist. Abb. 2.17 zeigt das Anschlussdetail einer Kapillarrohrmatte, die sowohl in den Innenflächen der Wandelemente, sowie in den Fassadenelementen zur thermischen Aktivierung der Bauteile verlegt wurde.

Abb.2.17



Abb.2.17



Abb.2.18

Studie – Methodik und Untersuchungsrahmen

Die Studie will den Entwurfsprozess der ETA-Fabrikhalle nochmals nachvollziehen. Hierfür sollen Entwurfsalternativen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Lebenszyklusszenarien miteinander verglichen werden. Wie zu Anfangs erwähnt verfolgt die Studie dabei zwei Ziele. Zum einen soll überprüft und bewertet werden, inwiefern das zur Realisation kommende Tragwerk der Forschungsfabrik tatsächlich als 'kreislaufgerecht' eingestuft werden kann. Zum anderen soll untersucht werden, welche Rückschlüsse allgemein für den Entwurf 'kreislaufgerechter' Architektur gezogen werden können.

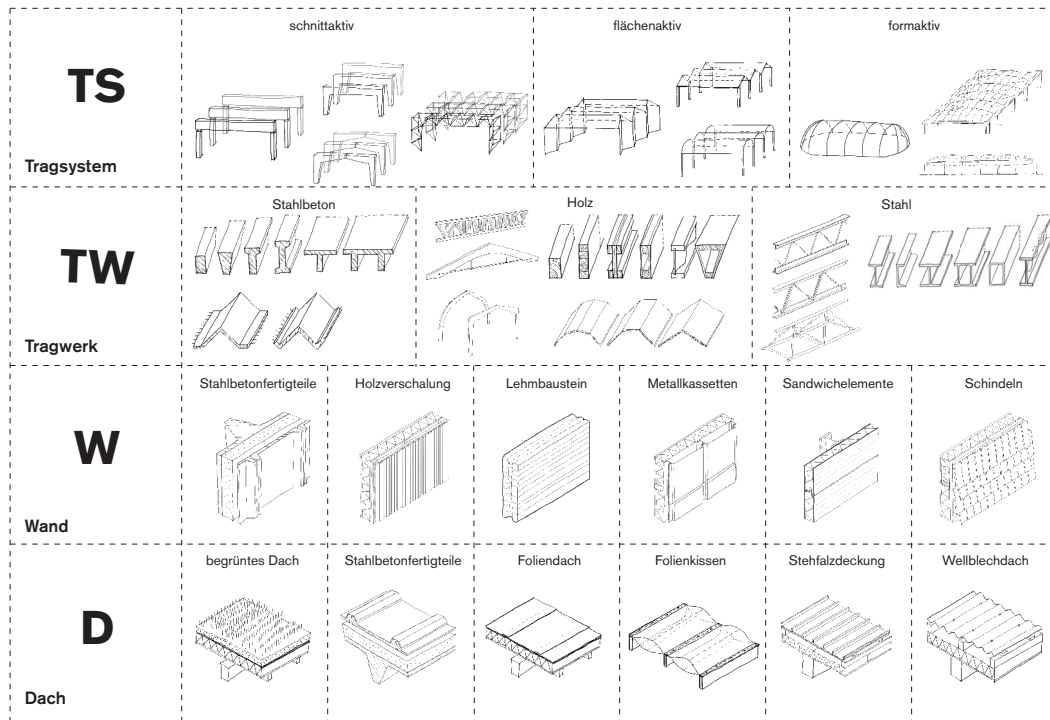


Abb.3.1: Baukasten

Vorgabe für die zu vergleichenden Entwurfsalternativen ist die Grundstruktur des modularen Tragwerks der ETA-Fabrik, mit einem Grundmodul von 3m x 10m x 20m und einem umbauten Raumvolumen von insgesamt 600 m³. Zu Gunsten einer besseren Vergleichbarkeit werden keine Fenster- oder Türöffnungen berücksichtigt.

In einem ersten Schritt soll mittels eines Baukastens das Spektrum möglicher Entwurfsansätze für diese relativ kleine und überschaubare Bauaufgabe dargestellt und nachvollziehbar gemacht werden. Der Baukasten beinhaltet die verschiedenen Elementkategorien aus denen sich der Entwurf zusammensetzt und die theoretisch miteinander kombiniert werden können: Tragsystem und Tragwerk, Wandaufbauten, Dachaufbauten.

Die Struktur des 'Baukastens' ist in Abb. 3.1. dargestellt. Die ersten beiden Kategorien gliedern sich in Tragsysteme und Tragwerke. Unter Tragsystemen wird hier

das immaterielle statische System verstanden, während Tragwerke ihre Übersetzung in ein konkretes Konstruktionsmaterial darstellen. Die Ordnung der Tragsysteme des Baukastens ist in Anlehnung an Heino Engel¹ gegliedert.

In der dritten Kategorie sind Wand- und Dachaufbauten aufgeführt, geordnet nach ihrem vorherrschenden Material. Die Konstruktionsdetails entstammen Beispielprojekten, wie sie in einer Studie zu Referenzprojekten gesammelt wurden und im Anhang zu finden sind. Sie stellen einen repräsentativen Querschnitt von gängigen Hallenkonstruktionen dar, wie sie dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. In einer vierten Kategorie des Baukastens werden die unterschiedlichen vorstellbaren End-of-Life Szenarien aufgeführt.

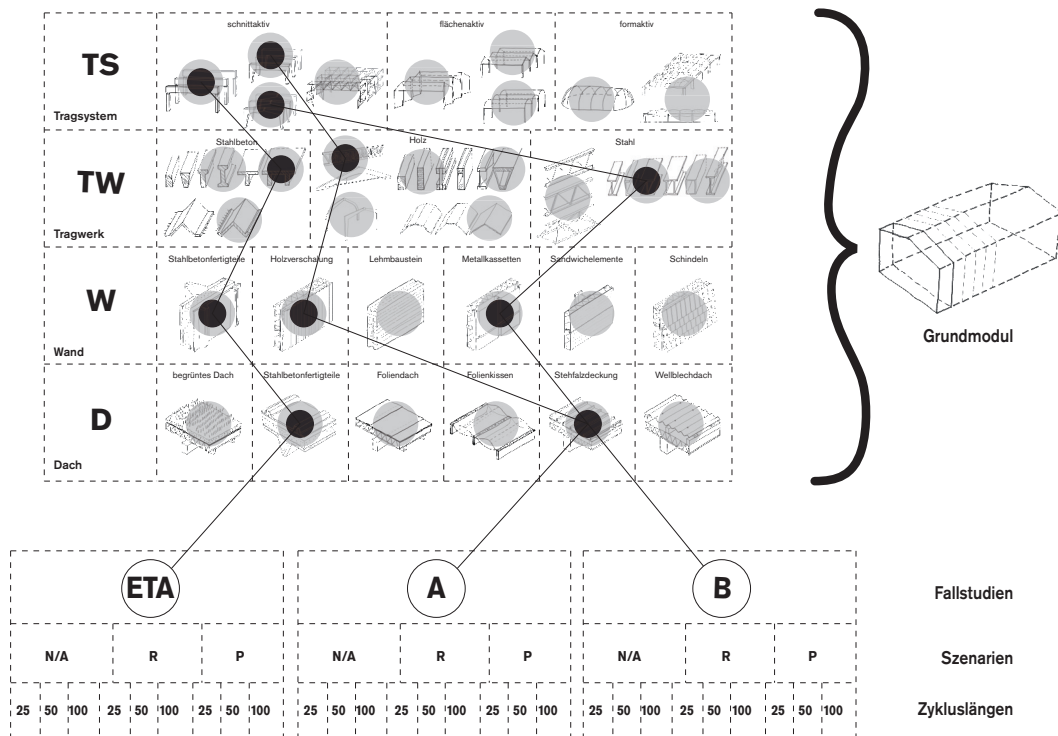


Abb. 3.2: Untersuchungsmatrix

In einem nächsten Schritt werden aus dem vorliegenden Baukasten unterschiedliche Hallenkonstruktionen zusammengestellt. Kriterien hierfür sind: Zum einen die Zusammenstellung von Tragwerken aus einer Materialfamilie, z.B. ein Holztragwerk mit einem Fassadenaufbau aus Holzmaterialien etc und zum anderen die Zusammenstellung von Tragwerken, die sich mutmaßlich stark in ihrem grauen Energieaufwand unterscheiden. Auf diese Weise werden alternative Hallenkonstruktionen definiert. Die so ausgewählten Alternativen werden über ihren Lebenszyklus bilanziert. Dabei beschränkt sich die Untersuchung auf die Bilanzierung des kumulierten Energieaufwands. Zur Bewertung des ermittelten Energieaufwands wird dieser über drei unterschiedliche, vorab definierte Lebenszyklusszenarien ermittelt.

Da es sich um eine vergleichende Studie handelt, werden bei der Bilanz alle Aufwendungen unberücksichtigt bleiben, die unverändert für alle untersuchten Alternativen

1 Engel 2013)

tiven gleichermaßen gelten. Dies gilt sowohl für den energetischen Betriebsaufwand während der Nutzungsphase² wie für ganze Bauteile, die bei allen Alternativen vorkommen, so z.B. die Bodenplatte und die Gründung des Tragwerks³.

Die über den beschriebenen Baukasten zustande kommende Detailtiefe des Tragwerks entspricht einem Vorentwurfsstand. Fügungs- oder Eckdetails werden in dieser Bearbeitungstiefe noch nicht erfasst und gehen nicht in die anschließende Bilanzierung der Energieaufwendungen ein⁴.

Für die zu erstellende Sachbilanz der Alternativen kommt ein Bilanzierungswerkzeug zum Einsatz. Das vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung entwickelte Softwaretool: der Bauteileditor (eLCA), wird zur Zeit noch als Betaversion im Netz getestet, soll aber zukünftig nach Anmeldung von jedermann kostenlos nutzbar sein. Für eine Untersuchung, die sich in dem Rahmen von Möglichkeiten bewegen will, den ein selbstständiger Planer hat, bietet sich dieses Softwaretool an⁵.

Das Bilanzierungstool bietet dem Nutzer die Möglichkeit aus einer Reihe vorgefertigter Bauteilkomponenten zu wählen, lässt ihm aber auch die Freiheit eigene Bauteile zu modellieren, im Projekt zu speichern oder auf der Plattform zu veröffentlichen. Die Software greift auf die Datenbank ÖKOBAU.DAT zurück, eine Baustoffdatenbank, die vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) gepflegt und veröffentlicht wird. Sie enthält sowohl generische Datensätze als auch firmen- oder verbandsspezifische Datensätze aus Umweltproduktdeklarationen. Der Aufbau ihrer Datensätze entspricht der DIN EN 15804. Wo es ging, wurde auf die über das Tool ermittelten Daten zurückgegriffen. Wo dies nicht möglich war, wurden eigene Annahmen getroffen. Eine detaillierte Auflistung der Datenquellen und eine Erläuterung zu den getroffenen Annahmen findet sich in der Beschreibung der untersuchten Lebenszyklusszenarien wieder, da diese Annahmen in Abhängigkeit des jeweils vorgestellten Szenarios stehen.

Als funktionelle Einheit für die Bilanz wird der Quadratmeter Nettogrundfläche bezogen auf die Nutzdauer von einem Jahr festgelegt.

Wie der Untersuchungsmatrix in Abb. 3.2. zu entnehmen ist, sollen je Fallstudie und Szenario Werte für mehrere unterschiedliche Nutzungszeiträume erstellt und abschließend miteinander verglichen werden.

- 2 *Der u-Wert aller berücksichtigten Wandaufbauten ist der Selbe.*
- 3 *dass die Gründung des Tragwerks sich mit den unterschiedlichen statischen Systemen verändert, ist zur Vereinfachung der Alternativen nicht berücksichtigt worden.*
- 4 *Entsprechend dem Vorgehen bei einer vereinfachten Bilanz im Rahmen der DGNB-Zertifizierung werden statt dessen auf die ermittelten Werte 10% aufgeschlagen.*
- 5 *Wie schon erwähnt gibt es mittlerweile eine große Anzahl an Tools zur Erstellung von Ökobilanzen. Das hier zum Einsatz gekommene Tool hat sich angeboten, weil es auf die Anwendung im Baubereich zugeschnitten, für die Verwendung durch Nicht-Wissenschaftler konzipiert und kostenlos zugänglich ist.*

Überlegungen zu einer vergleichenden Lebenszyklusbetrachtung

‘Ewigkeitswert’ oder ‘Gebrauchswert’?¹ – Welchem ist der Vorzug zu geben, aus der Perspektive der Nachhaltigkeit? Ist es energetisch sinnvoller auf Dauer zu planen und zu bauen oder ist eine gebrauchsorientierte, kurzfristige Lösung die sinnvollere?

An einem fiktiven, aber häufig anzutreffenden Beispiel, soll das Dilemma verdeutlicht werden, dass sich hinter dieser Frage verbirgt. So stehen Kommunen ab und an vor dem Problem, dass in einem Neubaugebiet die Kapazitäten der existierenden Schulen nicht mehr ausreichen. Die Kommune muss durch eine bauliche Maßnahme eingreifen, sei es in Form eines Neubaus oder die Erweiterung eines bestehenden Schulbaus; die Wahrscheinlichkeit ist jedoch hoch, dass der Bedarf nach vergleichsweise kurzer Zeit wieder rückläufig sein wird, dann nämlich, wenn die Kinder der Neuhinzugezogenen aus dem Haus sind, aber keine weiteren jungen Familien mehr hinzukommen werden. Häufig entscheiden sich die Kommunen in so einem Fall für ein Provisorium, einen Containerbau, wie er von der Industrie angeboten wird und gegen einen dauerhaften Neubau. Architektonisch ist das eine unbefriedigende Lösung. Trotzdem bleibt die Frage interessant, ob in diesem Fall womöglich ein temporärer, auf seine Standzeit hin optimierter Bau wirklich die nachhaltigere Lösung ist? Um diese Frage beantworten zu können, müsste man den Lebenszyklus beider Gebäude, den des Neubaus und den des Provisoriums, miteinander vergleichen. Wie sähe das aus?

Der Energie-Zeit Quotient

Abb. 4.1. zeigt die vereinfachte Grafik der Energiebilanz eines Lebenszyklus. Am Anfang muss Energie in Form von Baustoffen, Transport und Konstruktion für die Herstellung investiert werden. Für den Energieverbrauch im Gebrauch sind zwei-erlei Inputströme relevant. Zum einen kostet der Betrieb, die Nutzung des Gebäudes Energie, zum anderen der Aufwand an Reparaturen und sonstigen Maßnahmen zur Instandhaltung des Gebäudes. Am Schluss des Lebenszyklus kostet die Demontage und die Entsorgung nochmals Energie, aber es gibt auch eine Gutschrift über Energie, die z.B. durch Verbrennung rückgewonnen oder über Recyclingverfahren eingespart wurde.

Der Verlauf dieser Kurve sieht bei jedem Gebäude anders aus. So wird bei dem beschriebenen Schulbaubeispiel die Kurve eines, möglicherweise in Passivhaus-Standard und in Massivbauweise ausgeführten Neubaus, sich deutlich von der des Provisoriums aus leichten Stahlcontainern unterscheiden. Die Kurve des Neubaus wird am Anfang deutlich höher ansteigen, aber dafür über den Verlauf der Nutzung hinweg nur noch wenig zulegen, während die Kurve des Provisoriums am Anfang deutlich weniger Einstiegsenergie benötigt, dafür aber im Verlauf der Nutzung deutlich zulegt.

Überlagert man die zwei so beschriebenen Kurven, so ist rückblickend einfach zu bestimmen, welches dieser beiden Gebäudekonzepte das sinnvollere ist, wenn möglichst wenig der kostbaren, an Ressourcen gebundenen Energie verbraucht werden soll.

1 Vgl. (Giedion and Huber 1985, S.7f)

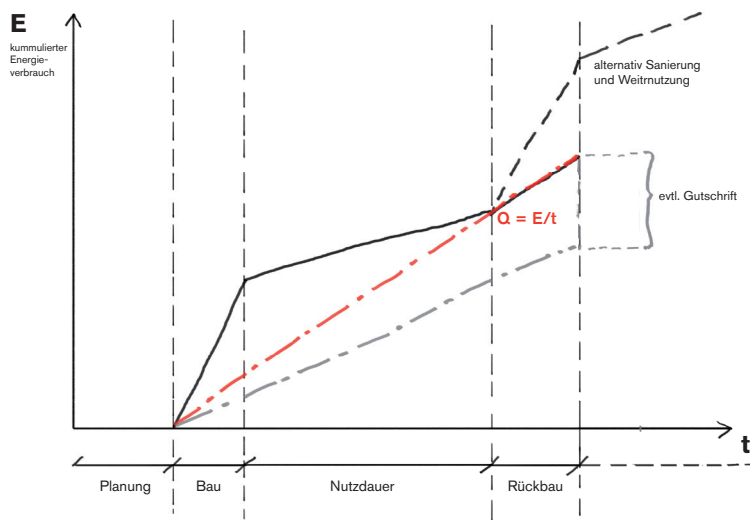


Abbildung 4.1 Vereinfachte Energiebilanz eines Gebäudelebenszyklus mit resultierendem Verhältnis $E/t = Q$.

Abb. 4.2. zeigt die Überlagerung der Lebenszyklen eines temporären und eines dauerhaften Gebäudes. Was man dieser Grafik sofort entnehmen kann: bis zur angenommenen Standzeit t_x ist es offensichtlich sinnvoller, eine anstehende Bauaufgabe mit einem temporären Gebäude zu lösen, danach zahlt es sich aus, auf das dauerhafte Gebäudekonzept zu setzen. In unserem Fallbeispiel des Schulneubaus, stellt t_x den Nutzungszeitraum dar, ab dem ein Neubau zumindest aus energetischer Sicht nachhaltiger gewesen wäre. So weit, so gut. Einziges Problem: Es ist fast unmöglich, den Zeitpunkt t_x vorherzubestimmen und scheinbar noch unmöglicher ihn festzulegen².

Um diese Dilemma zu vermeiden, soll nun nicht die zu einem scheinbar schwer bestimmbareren Zeitpunkt t_x verbrauchte Menge Energie als Bewertungsmaßstab herangezogen werden, sondern das Verhältnis von Energieaufwand zu Zeit. Die gestellte Frage lautet also nicht mehr: 'Wie lange darf das Haus stehen?', sondern: 'Wie viel Energie verbraucht es pro Zeiteinheit? Wie sparsam ist es?'

Tatsächlich ließe sich so der Konflikt zwischen temporärem und dauerhaftem Gebäude ganz anders darstellen. Die abstrahierte Gerade über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes stellt eine lineare Funktion dar, anhand derer das Verhältnis von Energieaufwand je Zeiteinheit über die Steigung definiert wird. Weisen die Lebenszyklen unterschiedlicher Bauwerke die gleiche resultierende Steigung auf, so verbrauchen sie für die Dauer ihrer Nutzung insgesamt die gleiche Menge an Energie. Auf das Schulbaubeispiel übertragen würde das bedeuten: Kann ich dafür sorgen, dass die Containerlösung übers Jahr gerechnet genauso viel Energie verbraucht, wie der Neubau, wären beide Lösungen aus energetischer Sicht gleichwertig und ich hätte das Dilemma umgangen, die Standzeit für eine vernünftige Bewertung vorhersagen zu müssen.

Abb. 4.3. stellt stark abstrahiert dar, wie so die gleiche (Bau-)Aufgabe mit vier aus energetischer Sicht vergleichbaren Alternativen gelöst werden kann. Ähnlich einer russischen Puppe, stecken in einem Haus A, zwei Häuser B, in denen wiederum zwei Häuser C stecken.

² zum Stichwort: „Pyramidalität“ vgl. Kapitel Eins, Zeit als Teil der Konzeption von Architektur

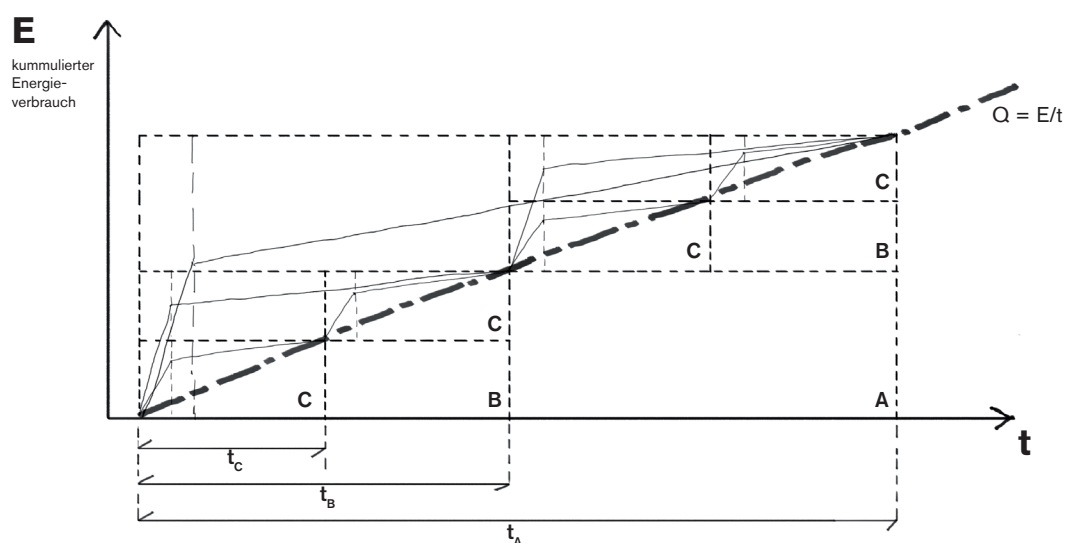
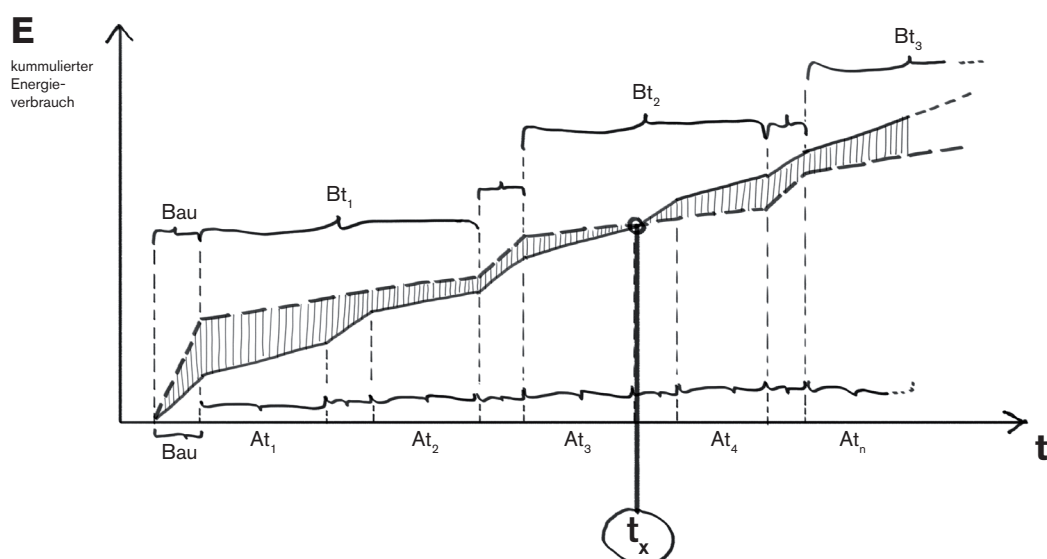


Abb. 4.3: Unterschiedliche Gebäudetypen mit dem selben E/t Quotienten

Im Folgenden soll nun untersucht werden, wie über diese vereinfachte Form der Darstellung eines Energie/Zeit-Quotienten (im Folgenden kurz E/t-Quotient genannt) unterschiedliche Gebäudekonzepte miteinander verglichen werden können.

So können Modelle mit einem unterschiedlichen Verhältnis von grauer zu operativer Energie, aber gleichem Energie-Zeit-Quotienten auf diese Weise miteinander verglichen werden. In Abb. 4.4 sind drei Gebäude dargestellt, die über den gleichen Lebenszyklus-Zeitraum den gleichen E/t-Quotienten besitzen. Das erste, als Haus L bezeichnete Gebäude könnte ein Neubau sein, der im Passivhausstandard errich-

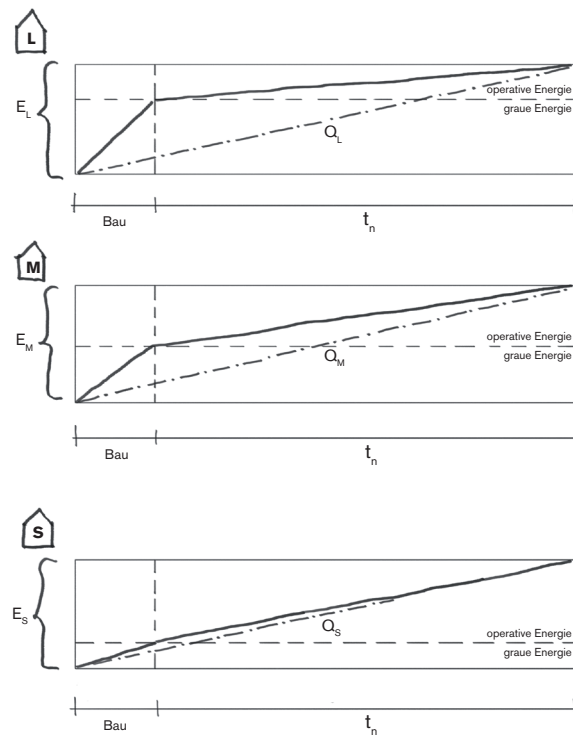


Abb. 4.4: Operative und graue Energie im Vergleich

Die Häuser S,M,L besitzen das gleiche Verhältniss von Energie zu Zeit, aber ein unterschiedliches Verhältniss von operativer zu grauer Energie

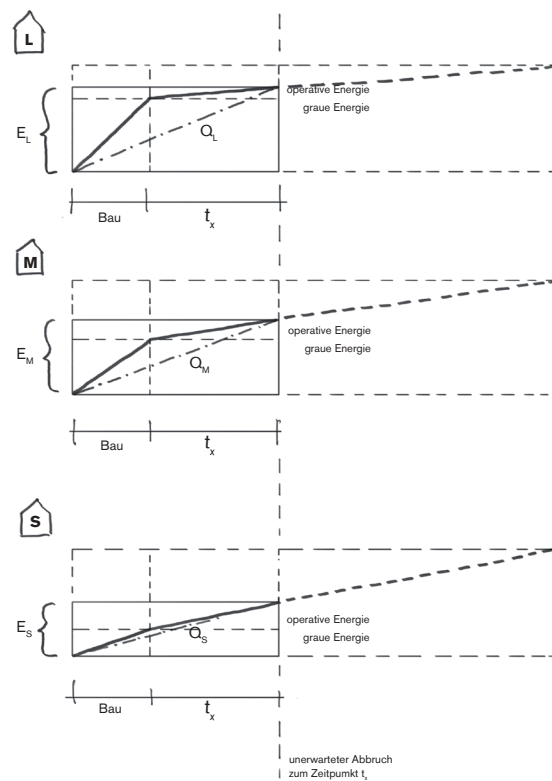


Abbildung 4.5: ... bei einem frühzeitigen Abriss stellt sich das resultierende Energie-Zeit-Verhältniss anders dar.

tet wurde. Einem relativ hohen Energieaufwand für die Erstellung folgt eine sehr flache Kurve für die operative Energie des Gebäudes. Wenn die nachfolgenden Häuser M und S, die beide den Passivhausstandard nicht erreichen, den gleichen E/t -Quotienten aufweisen sollen, dann dürfen sie über den Zeitraum ihres Lebenszyklus nur so viel mehr Energie aufwenden, wie sie bei der Errichtung eingespart haben. Über ihre Einsparung in der Herstellung können Sie es sich erlauben, mehr Energie zu verbrauchen.

Abb. 4.5 zeigt, was allerdings bei einem vorzeitigen Abriss passiert. Haus S weist natürlich einen deutlich niedrigeren E/t -Quotienten auf, als Haus L, da die von der Nutzungszeit abhängige operative Energie bei Ersterem für den gesamten Energieaufwand über den Lebenszyklus verantwortlich ist, während es bei dem zweiten sein grauer Energieanteil ist.

Graue und operative Energie sind, wie anfänglich dargelegt, nicht immer nach gleichen Kriterien zu bewerten. Im Folgenden soll daher das Gedankenspiel weiter vereinfacht werden und alleine die Aspekte des Lebenszyklus untersucht werden, die die graue Energie des Gebäudes betreffen.

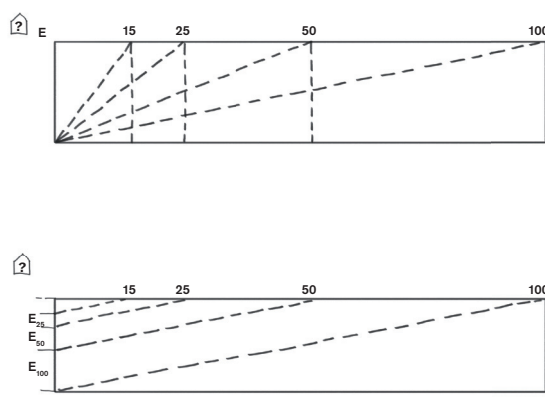


Abb. 4.6: Sollen Gebäude mit geringer Lebensdauer den gleichen E/t -Quotienten aufweisen, wie Gebäude mit längerer Lebensdauer, müssen sie entsprechend sparsamer mit ihrer grauen Energie umgehen.

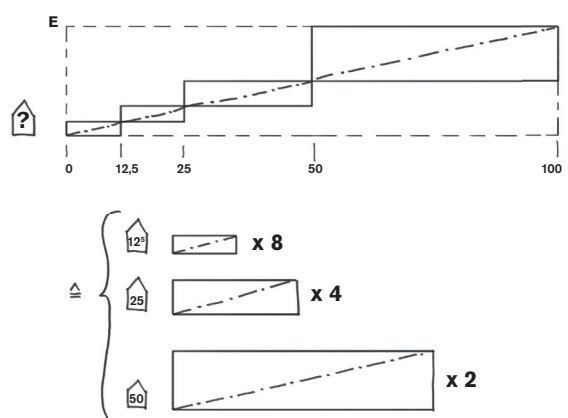


Abb. 4.7: Unterschiedliche Hauskonzepte mit gleichem E/t -Quotienten und unterschiedlicher Lebensdauer im Vergleich

Vielen gilt das Haus aus Stein, welches 100 Jahre steht, als Ideal nachhaltigen Bauens. Wie viel Energie darf ein Haus kosten, wenn es den gleichen E/t-Quotienten wie ein 100-jähriges Steinhaus besitzen soll?

In Abb. 4.6. ist der E/t-Quotient eines solchen Hauses dargestellt, ohne konkrete Werte als beispielhafter Kurvenverlauf – und wie dieser sich bei einer geringeren Standzeit verschlechtern würde. Und umgekehrt gedacht: nimmt man den E/t-Quotienten dieses Hauses als maßgeblichen Wert, an dem sich nachhaltiges Bauen orientieren sollte, dann zeigt die gleiche Abbildung was passiert: der erlaubte Energieeinsatz schrumpft in Abhängigkeit von der Standzeit des Gebäudes proportional, während der E/t-Quotient gleich bleibt.

Das Schaubild 4.7. zeigt wiederum, wie die gleiche Aufgabe, nämlich ‘100 Jahre Haus’ auf unterschiedliche Art und Weise beantwortet werden kann; entweder mit einem Haus H100 oder mit zwei Häusern H50 oder mit vier Häusern H25 oder mit 8 H12,5 Häusern, usw.

Aber wie sieht ein Haus aus, das für 12,5 Jahre – runden wir es großzügig auf 15 Jahre auf – konzipiert ist und dabei den gleichen E/t-Quotient, wie ein 100-jähriges Steinhaus besitzen soll?

Da wir die operative Energie nicht in Betracht ziehen, ergeben sich drei mögliche Strategien, dieses Ziel zu erreichen:

1. das Haus H15 darf für Herstellung, Errichtung und Rückbau tatsächlich nur ein Achtel dessen benötigen, was für das 100-jährige Haus benötigt wurde. Haus H15 müsste folglich superleicht sein!³
2. Ein überwiegender Teil des energetischen Aufwands, der für Errichtung und Herstellung benötigt wird, kann recycelt werden bzw. das Haus wird aus überwiegend recyceltem Material hergestellt.

Recyclingstrategien

Das Recyceln von Gebäudeteilen oder ganzen Gebäuden kann ein mögliches Mittel sein, den E/t-Quotienten eines Hauses gering zu halten. Da nicht jedes Gebäude unbegrenzt leichter werden kann bzw. nicht jede Gebäudekonstruktion soweit optimiert werden kann, dass ihre Herstellung tatsächlich so wenig Energie kostet, wie sie entsprechend eines vorgegebenen E/t-Quotienten kosten dürfte, müssen Mittel und Wege gefunden werden, große Teile der Gebäudestruktur so zu konzipieren, dass sie später wieder- oder weiterverwendet werden können.

In Abb. 5.1 ist genau das zu sehen: Haus A und Haus B sind in ihrem Herstellungsaufwand identisch. Haus B muss allerdings aufgrund seiner geringeren Standzeit einen Teil seiner Herstellungsenergie in Form von Bauteilen recyclieren, um den gleichen E/t-Quotienten zu halten wie Haus A. In einer weiteren Abbildung (5.2) ist dargestellt, wie das gleiche Haus allein aufgrund seiner kürzeren Standzeiten, einen

3 *Dass Masse und Energieaufwand in der Herstellung sich entsprechen, ist eine Hypothese, die nicht immer stimmt. Man denke nur an energetisch aufwendig herzustellende Dämmstoffe, wie Schaumglas. Tatsächlich trifft dies aber auf wenige Baustoffe zu. Der überwiegende Anteil an konventionellen Baustoffen weist eine hohe Korrelation des Verhältnisses von Primärenergieinhalt zu Baustoffmasse auf. Siehe hierzu auch (Kloft 1998, S.77)*

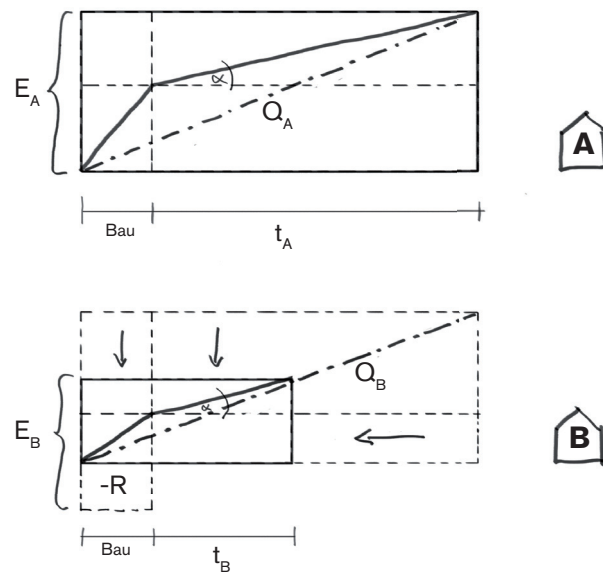


Abb.4.8: Recycling als Strategie, um einen vorgegebenen Energie / Zeit-Quotienten zu erreichen

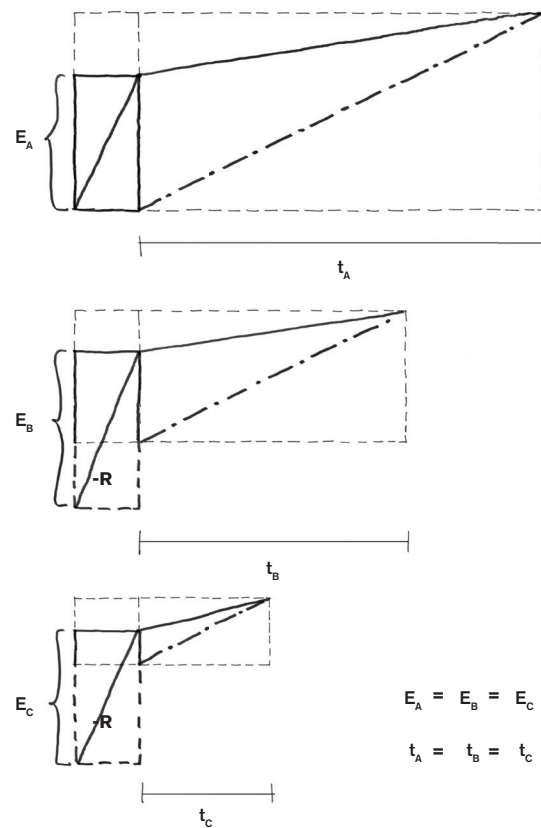


Abb. 4.9: Zeigt ein Bauwerk mit gleichem Herstellungsaufwand, dessen unterschiedlich lange Standzeiten über entsprechende Recyclingstrategien ausgeglichen werden.

immer größeren Prozentsatz seiner Konstruktion recyceln müsste, um den gleichen E/t -Quotienten zu halten.

Entsprechend der hier angestellten Vorüberlegungen, kann die Frage nach vergleichbaren Lösungen konkretisiert werden: Inwieweit können Gebäudetypen definiert werden, die bei unterschiedlichen Standzeiten bzw. Zykluslängen den gleichen E/t -Quotienten aufweisen?

Der Gebäudelebenszyklus

Hier sollen kurz die einzelnen Phasen des Gebäudelebenszyklus erläutert werden. Die Einteilung der jeweiligen Input- und Outputströme richtet sich nach der europäischen Norm EN 15804¹, in der die Regeln für die Erstellung von Umweltproduktdeklarationen von Bauprodukten festgelegt wurden.

Der Lebenszyklus eines Bauwerks kann in drei Phasen unterteilt werden: die Produktionsphase, die Nutzungsphase und die Phase des Rückbaus und der Entsorgung, die allgemein mit der englischen Bezeichnung End-of-Life Phase beschrieben wird.

In Tabelle 5.1. werden die über die drei Phasen des Lebenszyklus verteilten Inputströme definiert und in Kategorien unterteilt. Der während der Produktionsphase anfallende Herstellungsaufwand stellt den Grundstock des energetischen Kapitals dar, welches für den restlichen Verlauf des Zyklus zur Verfügung steht. Die Positionen A1 - A3 beschreiben die Inputströme die in die Herstellung der Baustoffe fließen, während in den Positionen A4 - A5 die Aufwände für den Transport und die Errichtung des Bauwerks aufgeführt sind. Während der Nutzungsphase fällt operative Energie in Form von Nutzenergie (Heizung, Wasser, etc) an (B1, B6 und B7) und in Form von Pflege (jeglicher Aufwand zur Erhaltung des Bauwerks vom Anstrich bis zur Sanierung: B2 - B5). Wie hoch der Pflegeaufwand eines Bauwerks bzw. eines Bauteils ist, hängt vom verwendeten Baustoff, von der Qualität der Fügung, von der Nutzintensität, sowie den äusseren und inneren klimatischen Bedingungen ab. Rückbau und (Wieder-)Instandsetzung von zu recycelnden Teilen bzw. die Aufbereitung für die Entsorgung sind die maßgebenden Aufwandsbeschreibungen für die letzte Phase des Lebenszyklus, der End-of-Life Phase, zusammengefasst in den Positionen C1 - C4. In den Positionen D1 und D2 wird dargestellt, welche Gutschriften über eine Verwertung der rückgebauten Materialien in der Bilanz berücksichtigt werden können.

Abb.5.2. zeigt beispielhaft, wo die unterschiedlichen Kategorien dieser Tabelle am Kurvenverlauf der verbrauchten Energie über den Lebenszyklus eines Gebäudes wiederzufinden sind. Dabei bezieht sich der E/t-Quotient $Q(E/t)$ alleine auf die Zeit der Nutzungsphase. Bau-, Rückbau-, Instandsetzungs- und Transportzeiten unterliegen ganz spezifischen Bedingungen und sind daher nicht zu verallgemeinern.

¹ EN 15804:2012+A1 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte

A1	Rohstoffgewinnung und -verarbeitung	Material	Ax = energetische Herstellungs-Kosten des Bauwerks	Ax
A2	Transport			
A3	Herstellung			
A4	Transport zur Baustelle	Konstruktion		
A5	Einbau in das Gebäude			
[B1]	Nutzung		Teil der Verbrauchsenergie – keine 'graue Energie'	
B2	Inspektion, Wartung, Reinigung	Verschleiss Pflege Instandhaltung Sanierung	Bx = energetische Unterhalts-Kosten	Bx
B3	Reparatur			
B4	Austausch, Ersatz			
B5	Modernisierung			
[B6]	Energie	Nutzung	Teil der Verbrauchsenergie – keine 'graue Energie'	
[B7]	Wasser			
C1	Rückbau	End of Life Szenarien (in Abhängigkeit der Konstruktion)	recycling-relevante Kosten: Aufwand für Rückbau und Aufbereitung bzw. Instandsetzung = C1+C2+C3	Cx
C2	Transport		Kosten für die Entsorgung: Aufwand für Abriss, Aufbereitung und Deponie bzw. Verbrennung = C1+C2+C4	
C3	Re-use, Recycling			
C4	Beseitigung			
D	Re-use / Recycling Potential	Potentiale	Gutschrift durch Wiederverwendung bzw. Weiterverwertung in anderem System	D
	thermische Verwertung		Gutschrift durch thermische Energiegewinnung	

Abb. 5.1 Für den Anteil an ‚grauer Energie‘ relevante Inputgrößen in den Lebenszyklusphasen eines Gebäudes nach DIN EN 15804

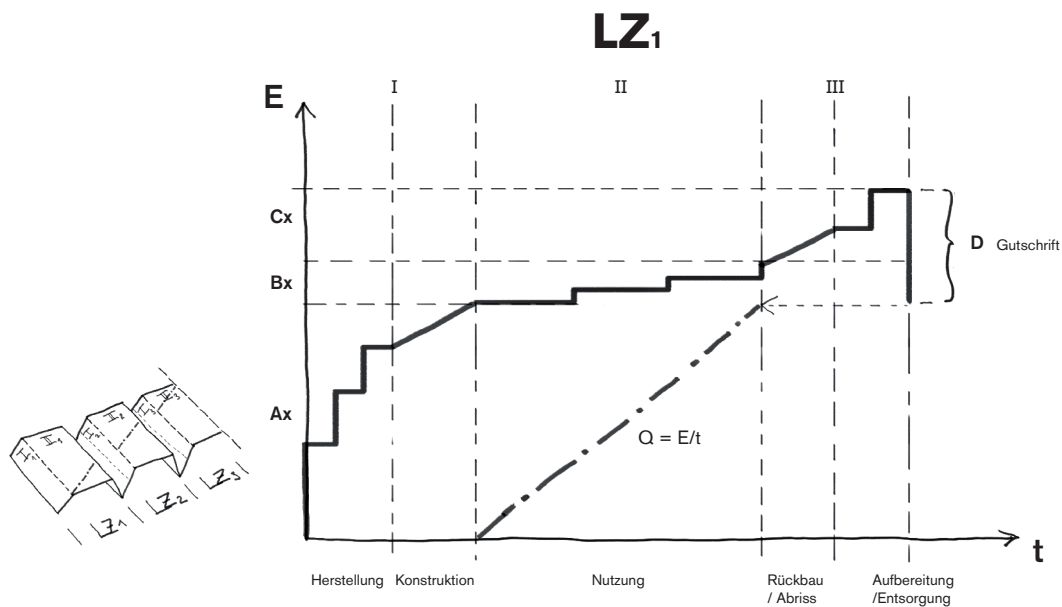


Abb. 5.2 Lebenszyklusverlaufkurve entsprechend Tabelle in Abb. 5.1. Q bezieht sich nur auf die Nutzungsphase.

Lebenszyklusszenarien

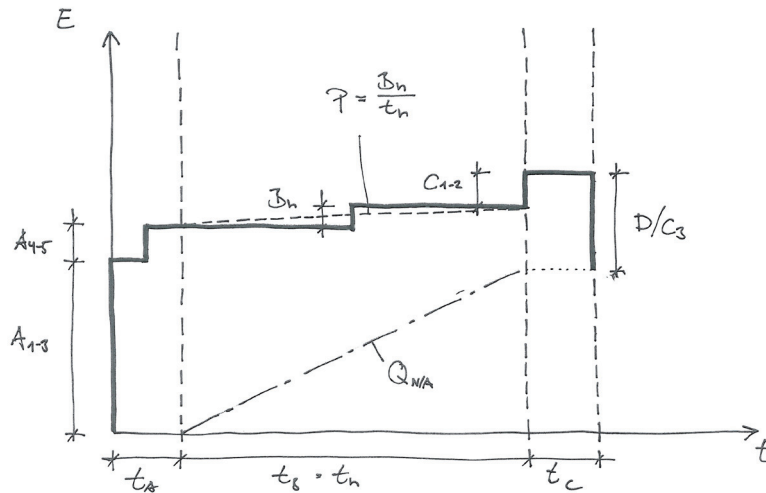
Naturgemäß können Lebenszyklusverläufe von Gebäuden sehr unterschiedlich aussehen. Was mit einem Gebäude im Gebrauch passiert, ist selten Bestandteil der Planung. Im Gegenteil, planerische Festlegungen für die Zeit nach der Fertigstellung des Bauwerks werden oft als Zumutung empfunden. Tatsächlich aber, ist der mögliche weitere Lebensverlauf eines Bauwerks stark abhängig von den Möglichkeiten und Voraussetzungen, deren Fundamente in der Planung gelegt wurden. Wie wandelfähig ist ein Gebäude, wie gut kann ich es rückbauen? Kann ich Teile davon wiederverwenden? Wie aufwendig ist die Pflege eines Bauwerks? Es gibt also durchaus planbare Aspekte am Lebenszyklusverlauf eines Gebäudes.

Im Folgenden wird versucht die wesentlichen Unterschiede für den möglichen Verlauf des Lebenszyklus eines Gebäudes in drei Szenarien zu verallgemeinern. In der folgenden Untersuchung dienen diese dann als Grundlage der zu erstellenden Bilanzen.

Für alle diese Szenarien gilt, dass sie entsprechend des im vorherigen Kapitel ausgeführten Systemgedankens das Bauwerk als einen Zusammenhang verstehen, der immer wieder hergestellt werden kann, auch wenn Bauteile und Baustoffe ausgetauscht werden müssen. Selbst Abriss und Neubau sind so als Teil einer kontinuierlichen zyklischen Existenz des Bauwerks dargestellt. Es ist der Versuch einer groben Kategorisierung möglicher Lebenszyklusverläufe. Kategorien, die in einem nächsten Schritt wiederum als Zielbeschreibungen von Planungsstrategien dienen können. Sie stellen eine Abstraktion realer Lebenszyklusverläufe dar. Die Trennlinie zwischen den einzelnen Szenarien ist unscharf. Tatsächlich finden sich in realen Lebenszyklusverläufen Versatzstücke und Überlagerungen aus allen drei Szenarien wieder. Die drei hier skizzierten und später weiter ausgeführten Szenarien sind als Positionen zu verstehen zwischen denen sich das Spektrum tatsächlicher und möglicher Lebenszyklusverläufe abspielt. So ist z.B. die Frage, ob und mit welcher Intensität ein Gebäude gepflegt wird schwer im Vorhinein festzulegen und ändert sich je nach Besitzverhältnis und Nutzung unter Umständen über den Lebenszyklus hinweg.

Das erste Szenario soll hier als Rückbau-Szenario bezeichnet werden. Für den Lebenszyklusverlauf dieses Szenarios gilt, dass das Gebäude über den Verlauf der Nutzungsphase hinweg minimal gepflegt wird und nach Ablauf seiner Nutzphase zurück gebaut und durch ein neues Gebäude ersetzt wird. Entsprechend den im vorherigen Kapitel beschriebenen Recyclingstrategien, wird das zweite Szenario als Recycling Szenario bezeichnet. Es stellt dar was passiert, wenn Teile des Bauwerks so konzipiert wurden, dass sie von einer Nutzungsphase in die nächste übernommen werden können. Voraussetzung für dieses Szenario ist zum einen, dass die technische Lebensdauer der Bauteile, die wiederverwendet werden sollen, länger ist, als die Nutzungsphase, aus der sie übernommen werden sollen; zum anderen, dass sie mit angemessenem Aufwand demontiert und Instand gesetzt werden können. Das im Folgenden als das Pflege-Szenario bezeichnete ist das dritte Szenario. Es geht davon aus, dass ein Bauwerk kontinuierlich gepflegt, repariert, Instand gehalten und wenn notwendig saniert wird und ein Abriss dadurch nicht stattfinden muss.

Das Haus auf Zeit – das Rückbau-Szenario



lig¹. Tatsächlich steckt dieselbe Logik aber in einem Großteil der Alltagsbauten unserer Städte. Alle Bauten, die in Konstellationen entstehen und genutzt werden, in denen sie in erster Linie abstrakte Werte darstellen, werden auf diese Weise bewertet. Geschosswohnungsbauten großer Wohnungsbaugesellschaften, Büroimmobilien aus dem Portfolio großer Projektentwickler, Verwaltungsbauten der öffentlichen Hand etc werden abgerissen und neu gebaut, wenn ihr Nutzen, sei es ein funktionaler, finanzieller oder repräsentativer unter einen bestimmten Wert sinkt. Altern wird als Entwertungsprozess verstanden, der notwendigerweise irgendwann zu Abriss und Neubau führt.

Die Grafik in Abb. 6.1 zeigt den typischen Lebenszyklusverlauf eines solchen Szenarios, während in der Tabelle 6.2 die diesem Graphen zugeordneten Parameter zu sehen sind, mit Angabe der Datenquellen, wie sie bei der anschließenden Untersuchung zur Verfügung standen. Die Angaben zu den Modulen A1-3 können mit Hilfe des Ökobilanztools ermittelt werden; ebenso die Angaben zur Entsorgung (C3) und zu möglichen durch Verwertung (sei es aufgrund von Recycling oder von thermischer Verwertung) entstehenden Gewinnen (D)².

Da nicht für alle notwendigen Parameter der Kurve belegte Daten zur Verfügung stehen, wurden hier eigene Annahmen getroffen. Eigene Annahmen mussten für die folgenden Parameter getroffen werden. Die Werte für den jährlichen Pflegeaufwand wurden als minimal angenommen und auf 0,4% des gesamten Primärenergieaufwands, der für die Herstellung nötig war, in 25 Jahren festgelegt. Für die Position A4-5, Montage und Transport, wurde ein Pauschalwert von 1000 MJ/NGFa angenommen, für die Positionen C1-2, Demontage und Transport von 600 MJ/NGFa. Alle Annahmen beruhen auf groben Schätzungen, die im Rahmen weiterer Studien verifiziert bzw. ersetzt werden müssten.

Werte für den nach 50, 75 und 100 Jahren notwendigen Ersatz von Bauteilen entsprechen dem Herstellungsaufwand der entsprechenden Bauteilgruppen und können mittels eines Ökobilanztools erfasst werden. Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen sind in diesem Szenario nicht vorgesehen.

Das wiederverwendbare Haus – das Recycling-Szenario

Die Idee dieses Szenarios bzw. dieser Lebenszyklusstrategie ist es, dass ein Gebäude tatsächlich zu großen Teilen wiederverwendet werden kann, wenn eine erste Nutzungsphase zu Ende geht. Das schließt meistens mit ein, dass sich der Standort

- 1 *Solche Bauten werden nach Möglichkeit aus Bauteilen zusammen gesetzt, deren technische Lebensdauer der Nutzdauer des gesamten Bauwerks entspricht. Alle Bauteile sollen möglichst 'aufgebraucht' werden. Der Aufwand für Instandhaltung wird möglichst gering gehalten und Instandsetzungsmaßnahmen sind nicht vorgesehen.*
- 2 *Die Werte für die Lebenszyklusmodule C3 und D werden in den Angaben der ÖKO-BAU.DAT nicht unterschieden, daher kann hier nur ein gemeinsamer Wert angegeben werden. Leider wird auch nicht näher erläutert, woher die unter Entsorgung aufgezeigten energetischen Gewinne stammen. Ob sie dem aktuellen Lebenslauf zu Gute gerechnete Einsparungen in der Herstellung durch ein Stoffrecycling darstellen oder ob sie als energetische Gewinne aus der thermischen Verwertung zu Buche schlagen ist so nicht ersichtlich.*

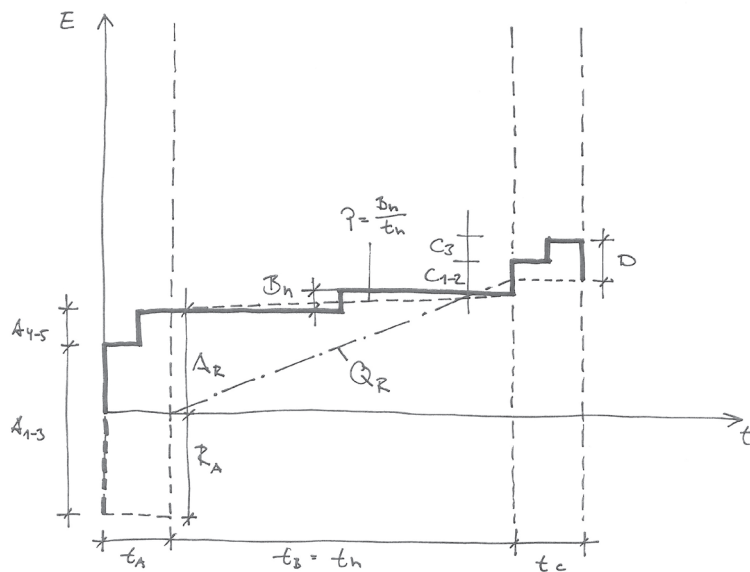


Abb. 6.3: Allgemeiner Verlauf der lebenszykluskurve im Recycling-Szenario

Fallbeispiel A – Holzfachwerkrahmen – Recycling-Szenario					
[R] E	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	–	1000 MJ/NGFa
	RA(Rn)	recyceltes Material der Bauteilgruppen Rn	eLCA	PgesH(RA)	
	AR	nicht recyceltes Material	eLCA	PgesH(A1-3)-PgesH(RA)	
B	Bn	Gesamter Aufwand für minimale Instandhaltung in tn	eigene Annahme	4% PgesH	
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25-175	
C	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	60% A4-5	600 MJ/NGFa
	C3	Instandsetzung von RA – dF-Werte siehe Tabelle ...	eigene Annahme	RAxdF(Holz)+30%RA	
	D	Entsorgung von AR	eLCA	PgesE(AR)	
	E50	Ersatz nach 50 Jahren	eLCA	PgesH(E50)	
	E75	Ersatz nach 75 Jahren	eLCA	PgesH(E75)	
	E100	Ersatz nach 100 Jahren	eLCA	PgesH(E100)	
Q	tn=25	$(AR+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+C3+D)/t_n$			
	tn=50	$(AR+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+C3+D)/t_n$			
	tn=75	$(AR+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+C3+D+E50)/t_n$			
	tn=100	$(AR+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+C3+D+E50+E75)/t_n$			
	tn=125	$(AR+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+C3+D+E50 \times 2+E75+E100)/t_n$			
	tn=150	$(AR+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+C3+D+E50 \times 2+E75+E100)/t_n$			
	tn=175	$(AR+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+C3+D+E50 \times 3+E75 \times 2+E100)/t_n$			

Abb 6.4: Tabelle der Input- und Outputströme des Lebenszyklusverlaufs im Recycling-Szenario

des Gebäudes ändert³.

Gebäude, die mit Hinblick auf solche Lebenszyklusverläufe konzipiert und optimiert werden, sind schon heute omnipräsent, bleiben aber in der gesellschaftlichen Wahrnehmung oft unsichtbar. Es handelt sich um Bauwerke mit temporären, oft provisorischen Aufgaben und einem hohen Grad an industrieller Fertigung. Industriehallen, Notunterkünfte, Schulprovisorien, Asylantenwohnheime sind Beispiele sol-

3 In diesem Szenario nicht berücksichtigt werden die Möglichkeiten Materialien nach dem Rückbau wieder- oder weiter zu verwerten. Diese Fälle werden im Rückbau-Szenario über die Gutschrift von Recyclingpotentialen abgedeckt.

	RF	% Anteil v. Hg
SEHR LEICHT	A	0 %
LEICHT	B	10 %
SCHWER	C	20 %
SEHR SCHWER	D	30 %

Abb. 6.5 Tabelle zur Definition der Rückbaufaktoren

HOLZ	z.B. NAGELPLATTEN	B
	VERSCHRAUBT	A
STAHL	VERSCHWEISST	C
	GESCHRAUBT	A
STAHL- BETON FESTIGKEIT	VERLOSSEN	D
	GESCHRAUBT / GEBÄNDERT	A

Abb. 6.6 Bewertung verschiedener Fügungsarten mittels Rückbaufaktor (RF)

cher Bauten.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird unter diesem Szenario eine Perspektive verstanden, aus der heraus untersucht wird, welche Teile der jeweiligen Hallenkonstruktion wieder nutzbar sein könnten und welche Folgen dies für das energetische Kosten-Nutzen-Verhältnis dieser Konstruktion hat.

Abb. 6.3 zeigt den Kurvenverlauf den der Zyklus einer solchen Lebenszyklustrategie hat. Wie beim Rückbau-Szenario werden die einzelnen Parameter des Kurvenverlaufs in Tabelle 6.4 beschrieben, mit Angabe der Datenquellen zur Bestimmung ihrer Werte.

Analog zum Rückbau-Szenario werden die Positionen Montage und Demontage, sowie alle notwendigen Transporte mit Pauschalwerten belegt.

Aufwände für Instandsetzung und Instandhaltung spielen in diesem Szenario ebenfalls keine Rolle, weil im Rahmen der Aufbereitung der weiterverwendeten Bauteile eine Instandsetzung dieser Teile erfolgt. Für die restlichen zu erneuernden Bauteile sollte während den jeweiligen Standzeiten nicht mehr als der minimal notwendige Aufwand für Instandhaltung betrieben werden. Für diesen Aufwand P wurde wie im vorangegangenen Szenario mit 0,4% der Herstellungsenergie eine Annahme getroffen, die als plausibel erschien. In einem überarbeiteten Berechnungsverfahren müsste dieser Wert verifiziert bzw. korrigiert werden.

Um den Aufwand der notwendigen Instandsetzung einer wieder zu verwendenden Bauteilgruppe zu berücksichtigen, wurde ein einfaches Näherungsverfahren angewandt. Mittels eines Bewertungsfaktors (dRF) wird festgelegt, wie viel Prozent der kumulierten Herstellungsenergie einer solchen Bauteilgruppe bei einer Instandsetzung wieder hergestellt werden muss. In Abhängigkeit von Material und Fügungsart wird somit bewertet, wie einfach eine Bauteilgruppe zu demontieren ist bzw. wie viel Prozent des Bauteils voraussichtlich bei einer Demontage kaputt gehen werden. Wie der Tabelle 6.5 zu entnehmen ist, wird eine Abstufung von sehr leicht bis sehr schwer in vier Stufen von 0% bis 30% vorgenommen. Bei einem Wiederherstellungsaufwand von mehr als 30% wird davon ausgegangen, dass eine Wiederverwendung unsinnig ist. Die in Abb. 6.6 dargestellte Matrix dient der Bewertung der zu recycelnden Bauteilgruppe. Jeweils einer Kombination aus Material und Fügung wird eine Demontagekategorie zugeordnet. Der so ermittelte Prozentsatz des kumulierten Energieauf-

wands für die Herstellung der wieder zu verwendenden Bauteilgruppe entspricht C3, dem energetischen Aufwand für die Instandsetzung dieser Bauteilgruppe.

Auch in diesem Fall ist das vorgeschlagene Verfahren nur eine sehr grobe Annäherung, um plausible Werte zu erhalten. Tatsächlich steht eine wissenschaftliche Untersuchung und die Entwicklung eines differenzierten Bewertungssystems konstruktiver Fügungen mit Hinblick auf ihre Demontagefähigkeit noch aus.

Auch in diesem Szenario wird mit Werten für den nach 50, 75 und 100 Jahren notwendigen Ersatz von Bauteilen gerechnet.

Das Haus auf Dauer – das Pflege-Szenario

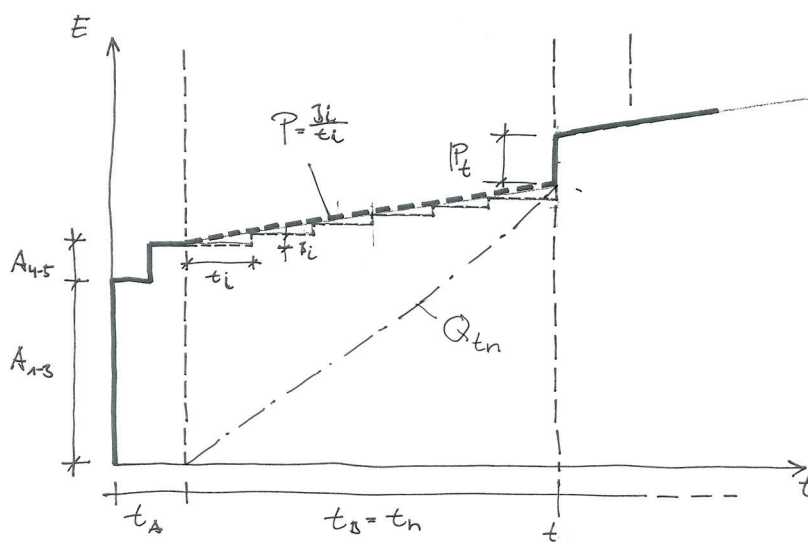


Abb. 6.7: Allgemeiner Verlauf der lebenszykluskurve im Pflege-Szenario

Fallbeispiel A – Holzfachwerkrahmen – Pflege-Szenario

Beispiel A – Holzschwerkrannen – Pflege-Szenario					
[P]	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	–	1000 MJ/NGFa
B	Bn	Gesamter Aufwand für Instandhaltung in tn	eigene Annahme	10% PgesH	
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25-175	
	IP25	Instandsetzung alle 25 Jahre	eLCA	30% PgesH(IP25)	
	IP50	Instandsetzung alle 50 Jahre	eLCA	50%PgesH(IP50)	
	IP75	Instandsetzung alle 75 Jahre	eLCA	50%PgesH(IP75)	
C	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	60% A4-5	600 MJ/NGFa
	C3	Entsorgung (Baustoffe)	eLCA	PgesE	
	D				
Q	tn=25	(A1-3+A4-5+Pxtn)/tn			
	tn=50	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25)/tn			
	tn=75	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x2+IP50)/tn			
	tn=100	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x3+IP50+IP75)/tn			
	tn=125	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x4+IP50x2+IP75)/tn			
	tn=150	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x5+IP50x2+IP75)/tn			
	tn=175	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x6+IP50x3+IP75)/tn			

Abb. 6.8: Tabelle der Input- und Outputströme des Lebenszyklusverlaufs im Pflege-Szenario

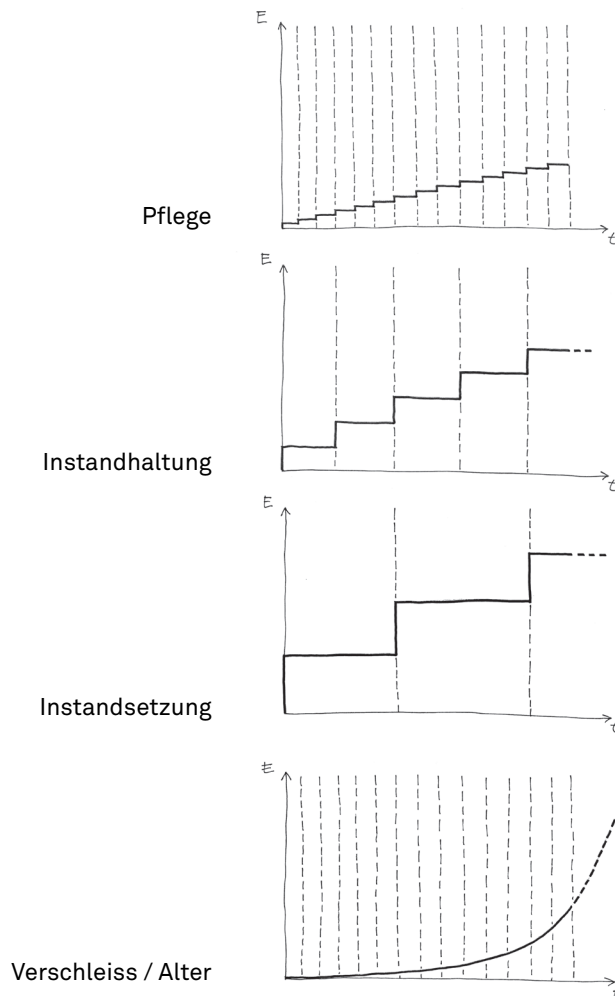


Abb. 6.9: Der Zuwachs an verbrauchter Energie ergibt sich aus der Summe von Pflege, Instandhaltung, Instandsetzung und Alter bzw. Verschleiss

Ein Haus, das kontinuierlich gepflegt und wo nötig repariert wird – dieses Szenario entspricht sicherlich der Idealvorstellung von Architektur, wie sie die Mehrheit teilt. Das Haus ohne festgelegtes Lebensende, das uns Sicherheit und Kontinuität in unserer Lebenswelt verspricht.

Tatsächlich aber bedarf es hierfür die richtige Konstellation aus Nutzerinteressen, Eigentümerinteressen und ökonomischen Randbedingungen. Es ist schon beinahe ein Sonderfall. Verantwortungsbereiche und Kompetenzen müssen eindeutig zugeteilt sein. Und schließlich muss auch das Altern selber als ein Mehrwert begriffen werden, damit sich die Investitionen in den Erhalt auch rechnen, weil sie nicht nur finanziell, sondern auch emotional bewertet werden. Wird Altern als unabwendbarer, nur aufzuhaltender Wertverlust verstanden, sind die beteiligten Akteure schwer zu motivieren, mehr als den augenscheinlich nötigen Aufwand zu betreiben. Am einfachsten vorstellbar ist eine solche Konstellation, wenn der Nutzer auch der Eigentümer ist. Das eigene Haus besitzt genau diesen emotionalen Mehrwert und seine Pflege ist daher augenscheinlich sinnvoll. Eigentumsverhältnisse die unpersönlicher Natur sind, scheinen dafür ungünstiger zu sein.

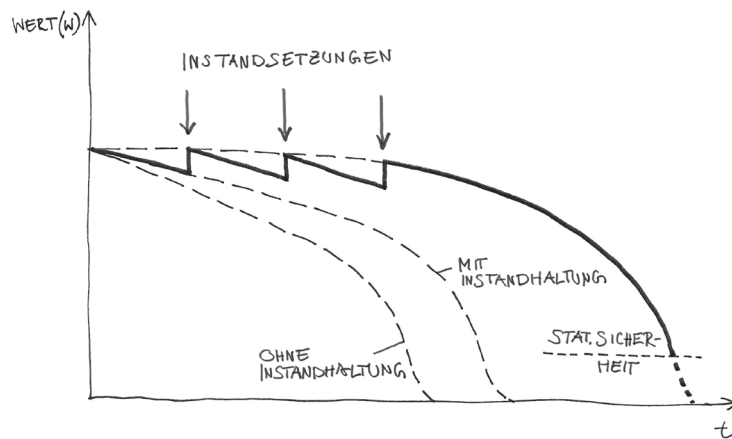


Abb. 6.10: Wertsverlustkurve nach Meyer-Meierling (Christen and Meyer-Meierling 1999)

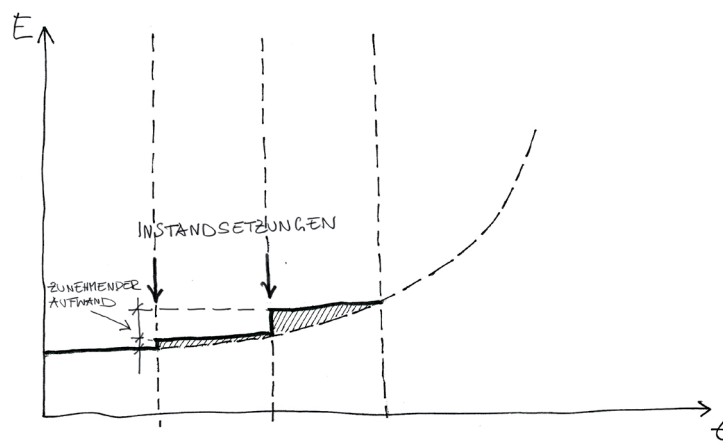


Abb. 6.11: Kurve mit wachsenden Aufwendungen zum Bauwerkserhalt analog zur in Abb. 6.10 gezeigten Wertsverlustkurve.

(s. Abb. 6.10)

Der Kurvenverlauf eines solchen Szenarios unterscheidet sich von den zwei vorausgegangenen zuerst einmal dadurch, dass sein Zyklus nicht über eine abgeschlossene Nutzungsphase definiert wird. Grundsätzlich kann man zwei Kategorien von Inputströmen unterscheiden, die den Kurvenverlauf nach Abschluss der Herstellungsphase bestimmen: Instandhaltungsmaßnahmen und Instandsetzungsmaßnahmen.

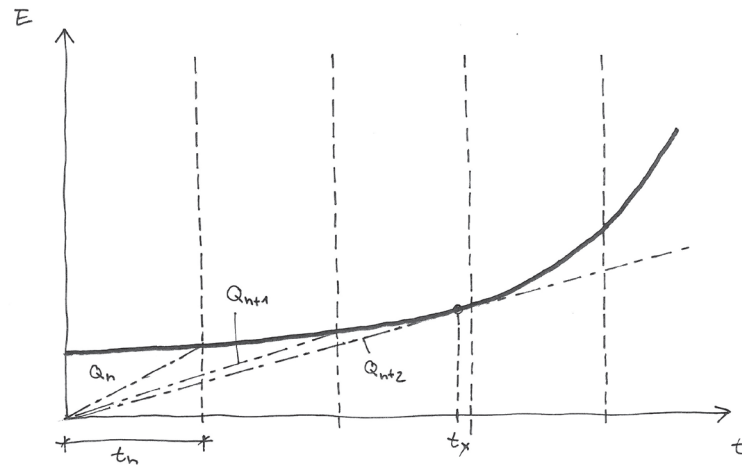


Abb. 6.12: Zunahme der energetischen Aufwendungen unter Berücksichtigung des allgemeinen Bauteilverfalls. Bis zum Zeitpunkt t_x wird das Verhältnis E/t immer günstiger.

men⁴.

Instandhaltungsmaßnahmen sind Maßnahmen, die für die Instandhaltung notwendig sind. Diese umfassen alle Maßnahmen zur Pflege, wie Anstriche, Reinigungen, etc, sowie kleinere Reparaturmaßnahmen, die während des Betriebs auf einer jährlichen Basis stattfinden. Instandsetzungsmaßnahmen sind Teilsanierungen und Gesamtsanierungen des Gebäudes, bei denen ganze Bauteilgruppen ersetzt werden, weil sie das Ende ihrer technischen Lebensdauer erreicht haben.

Wie in Abb.6.9 zu sehen, setzt sich die Kurve aus den Kurven dieser einzelnen Maßnahmen zusammen. Dabei können die Maßnahmen für die Instandhaltung auch in einer Kurve mit einem kontinuierlichen Steigungsverhältnis zusammengefasst werden. Die Instandsetzungsmaßnahmen tauchen hingegen als periodisch erscheinende Sprünge im Kurvenverlauf auf. Diese Sanierungsabschnitte sind hier die zyklusbestimmenden Zeitabschnitte. Der letzte Graph zeigt die noch näher zu bestimmende Alterungskurve des Bauwerks.

Auf die schwierige Frage des Alterns von Bauwerken hab ich in Kapitel Grundlagen schon verwiesen. Gleichwohl muss die Frage nach dem Altern gerade im Falle des Pflege-Szenarios noch einmal aufgegriffen werden. Scheint es doch offensichtlich, dass mit zunehmendem Alter der Aufwand für die Instandhaltung steigen muss. Wie schon erwähnt, wird in immobilienökonomischen Studien der Alterungsprozess

4 Auch zu der Frage der Instandhaltung gibt es Normen. In Deutschland sind es die DIN EN 13306 und die DIN 31051. Sie regeln die Begrifflichkeit, sowie die Grundlagen der Instandhaltung und Instandsetzung. Instandhaltung wird als „Bewahren der Gebrauchstauglichkeit durch einfache und regelmässige Massnahmen“ beschrieben und Instandsetzung als „Wiederherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Sicherheit für eine festgelegte Dauer“ – so die etwas knappere, aber inhaltlich übereinstimmende Beschreibung aus der entsprechenden Norm des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA Norm 469 „Erhaltung von Bauwerken“, 1997). Unter Instandhaltung sind somit alle Maßnahmen zur Pflege, Reparatur und Vorsorge eines Bauwerks zusammengefasst, während unter Instandsetzung die Maßnahmen und Eingriffe zu den Teil- und Gesamtsanierungen gemeint sind, bei denen ganze Bauteilgruppen ersetzt werden.

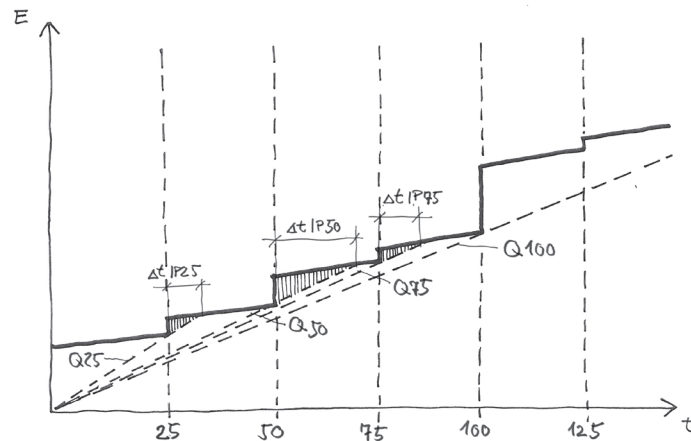


Abb. 6.13: Realer Kurvenverlauf führt aufgrund von Teil- und Gesamtsanierungen zu einer ‚Sägezahn-Kurve‘. Ab wann hat sich die Sanierung gelohnt?

von Gebäuden in sogenannte Wertverlustkurven übersetzt. Diese Diagramme zeigen keinen linearen Verlauf, sondern beschreiben eine anfänglich nur gering-, mit zunehmendem Alter aber exponentiell fallende Kurve, die den Wertverlust über das Alter beschreibt. In Abb.6.10 ist die Grafik aus dem vorherigen Kapitel nochmals zu sehen. Sie weist drei Kurven auf. Sie zeigen den Alterungsverlauf ohne Instandhaltungsmaßnahmen, den Alterungsverlauf mit Instandhaltungsmaßnahmen und einer weniger schnell abfallenden Kurve, sowie den Alterungsverlauf mit zusätzlichen periodischen Instandsetzungsmaßnahmen. Über den Zeitraum, in dem in regelmäßigen Zeitabschnitten Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt werden, weist diese letzte Alterungskurve nur eine geringe Neigung auf. Die Form des Verlaufs bleibt parabelförmig, verläuft aber bedeutend flacher als die beiden vorherigen Kurven. Wenn wir davon ausgehen, dass der (energetische) Aufwand für die Maßnahmen, seien es Instandhaltungs- oder Instandsetzungsmaßnahmen proportional mit dem hier dargestellten Wertverlust wächst, so muss man die hier vorgestellten Kurven nur an der t-Achse spiegeln und erhält so, die Kurve für den kumulierten Energieaufwand (KEA), den die Pflege des Bauwerks kostet.

Um nochmals auf den Graph der Alterungskurve in Abb.6.9 einzugehen. Zu bestimmen, wie der exakte Kurvenverlauf aussieht, müsste Teil einer eigenen Studie sein. Er ist sicherlich abhängig von Nutzungsart und -intensität, von inneren und äußeren Bedingungen, sowie von der Qualität der verbauten Komponenten und schlussendlich der baulichen Ausführung. Trotzdem erlaubt das Wissen über den generellen Verlauf, einen Kurvenverlauf zu konstruieren, wie er aus der Überlagerung der in Abb.6.9 aufgeführten Graphen entsteht. Abb.6.11 zeigt eine solche Kurve. Der Kurvenverlauf ist in Sanierungsabschnitte aufgeteilt, zu denen Instandsetzungsmaßnahmen stattfinden. Innerhalb des Sanierungsabschnitts steigt die Kurve linear an. Mit zunehmendem Alter wird diese Kurve von Sanierungsabschnitt zu Sanierungsabschnitt steiler. So entsteht auf lange Sicht gesehen, der parabelförmige Kurvenverlauf, den wir aus den Wertverlustkurven kennen. Abb.6.12 zeigt den abstrakten Kurvenverlauf eines solchermaßen ‚gepflegten‘ Bauwerks. Erkennbar ist, dass das Verhältnis von (energetischem) Aufwand zu Zeit immer günstiger wird, je länger das Haus gepflegt wird. Die Gerade mit der Steigung Q_n wird immer flacher. Ebenfalls erkennbar

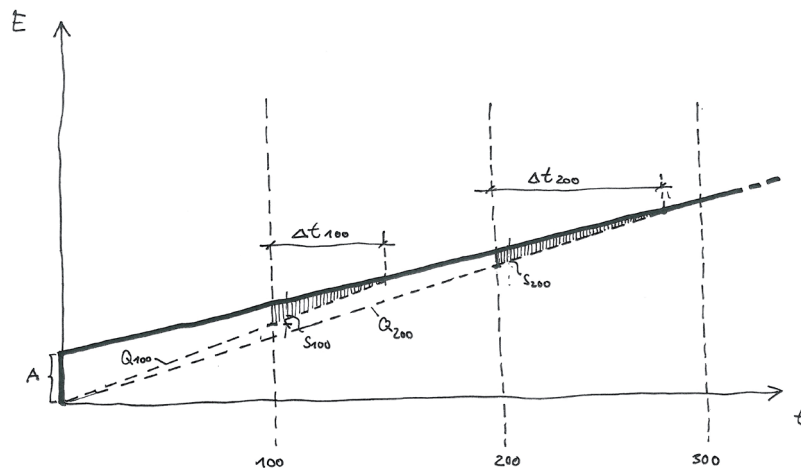


Abb. 6.14: Die Zeitspanne nach der sich der Aufwand für eine Sanierung gelohnt hat, wird mit zunehmender Standzeit immer länger.

ist, dass es einen Zeitpunkt t_d gibt, zu dem die Gerade mit der Steigung Q_{td} die Kurve B als Tangente berührt⁵. Das ist der Zeitpunkt bis zu dem das Verhältnis von Aufwand zu Zeit immer günstiger wird. Danach steigt der Aufwand wieder, den mich das Gebäude rückblickend pro Jahr kostet. Dies ist der Zeitpunkt, ab dem andere Kriterien, als die der energetischen Effizienz, wichtiger werden und schlussendlich ausschlaggebend für den Erhalt eines Bauwerks sind. t_d ist sozusagen der Wendepunkt, zu dem sich entscheiden muss, ob das Bauwerk zum Denkmal taugt oder nicht.

Für die exakte Bestimmung der Funktion der Alterungskurve wäre eine eigene Studie notwendig, die den Rahmen dieser Arbeit bei Weitem sprengen würde⁶. Für das weitere Vorgehen, sind daher in dieser Arbeit ein wachsender Verschleiss und die damit wachsenden Aufwendungen für Instandhaltungsmaßnahmen vernachlässigt worden.

Allgemein wird von notwendigen Sanierungsmaßnahmen in Zeitabständen von 20-30 Jahren ausgegangen⁷. In der nachfolgenden Untersuchung ist daher ein regelmäßiger Zyklus von 25 Jahren gewählt worden, in dem Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen. Im Gegensatz zum Ersatz von Bauteilen, handelt es sich bei der Instandsetzung um den Teilersatz einer nicht mehr gebrauchstauglichen Bauteilgruppe. Die Bauteilgruppen der zu untersuchenden Tragwerksalternativen werden daher entsprechend ihrer Lage und der zu erwartenden technischen Lebensdauer in In-

5 Wenn die Funktion $B(t)$ bekannt ist, berechnet sich der Zeitpunkt t_d entsprechend der Gleichung $B(t_d) = B'(t_d)t_d$

6 Zudem möchte ich hier auch nochmals anführen, dass die Frage der Übersetzung des materiellen Alterungsprozesses auf das komplexe System eines Bauwerks schwieriger zu beantworten ist, als die Wertverlustkurven der Immobilienökonomien den Anschein erwecken. Werden doch im Rahmen der Instandsetzungsmaßnahmen ganze Bauteilgruppen ersetzt, deren Alterungsprozess dann wieder von vorne beginnt. Dies spricht gegen eine global zunehmende Alterungskurve. Trotzdem nimmt sicherlich aufgrund von Folgeschäden durch die gealterte Umgebung auch für die erneuerten Bauteile die zu erwartende Lebensdauer ab.

7 (König 2009, S.35), sowie (Christen and Meyer-Meierling 1999, S.36)

standsetzungspakete unterteilt. So entstehen Instandsetzungspakete, die alle 25 Jahre, alle 50 Jahre bzw. alle 100 Jahre erneuert werden müssen.⁸ Dies führt dazu, dass die notwendigen Aufwendungen sich in der so entstehenden Kurve alle 50 bzw. alle 100 Jahre akkumulieren, weil sowohl die kurzfristigen, wie die längerfristigen Instandsetzungspakete sich zu diesen Zeitpunkten ergänzen⁹. In den Abschnitten zwischen den einzelnen Instandsetzungszeitpunkten definiert die Pflegeintensität P die Steigung der Kurve. Der so entstehende Kurvenverlauf ist in Abb.6.13 dargestellt. Die Reihe von Q25 bis Q175 aus Tabelle 6.8 entspricht mit den immer flacher werdenden Steigungen, dem von Sanierungsabschnitt zu Sanierungsabschnitt immer günstiger werdenden E/t -Quotienten. Gemessen wird der Wert immer zu Beginn jedes Sanierungsvorhabens. Dadurch entsteht eine Art Schattenwurf der entsprechenden Geraden auf den realen Kurvenverlauf dahinter, in Abb.6.13 dargestellt durch die schraffierten Flächen. Dieser stellt den Zeitraum Δt dar, den es dauert bis die getätigte Investition an energetischem Aufwand sich ‘gelohnt’ hat und der erreichte E/t -Quotient (also das Verhältnis verbrauchter Energie pro Jahr von diesem Zeitpunkt aus zurück gerechnet) wieder dem zum Zeitpunkt kurz vor der Sanierung entspricht. Ab diesem Zeitpunkt wird der Wert wieder besser.

Bei einem Aufbau der Kurve, wie oben beschrieben, gibt es einen Zeitpunkt, t_{100} , zu dem sich der Kurvenverlauf von Neuem wiederholt. Betrachtet man den Kurvenverlauf in diesen langen Zyklen, wie in Abb. 6.14 zu sehen, dann kann man sehen, dass Q zwar immer günstiger wird, der Grad der Verbesserung aber zum einen immer kleiner und zum anderen der ‘Schattenwurf’ Δt , die Zeitspanne nach der die Verbesserung eintritt, immer länger wird.

- 8 Die Größe des Aufwands entspricht 30% der Summe der ermittelten Werte für die Herstellungsenergie, der in einem Paket enthaltenen Bauteile. Auch dies ein Wert, der in einer weiteren Studie verifiziert werden müsste.
- 9 Dies entspricht nicht unbedingt der gängigen Baupraxis. Man würde die Instandsetzungsmaßnahmen zeitlich versetzen und sie nicht zur gleichen Zeit auflaufen lassen. Allerdings würde ein solches Vorgehen die Kurve in unserer Studie unnötig verkomplizieren, weshalb dieser (eher pragmatischen Gründen geschuldete) Aspekt ebenfalls vernachlässigt wurde.

Fallstudien – Tragwerksalternativen

Als Referenzbeispiel für die nachfolgenden alternativen Fallbeispiele dient die in Stahlbeton ausgeführte Hallenkonstruktion der Forschungsfabrik ETA. Ihrer modularen Bauweise entsprechend bauen alle zu vergleichenden Tragwerksalternativen auf dem gleichen Grundmodul von 3m x 20m x 10m auf.

Aufgabe dieser Studie ist der systematische Vergleich mit alternativen Tragwerksentwürfen anhand der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Lebenszyklusszenarien, um die Lebenszykluseigenschaften des ETA-Tragwerks einschätzen zu können. Der beschriebene E/t-Quotient dient hierbei als Vergleichskriterium. Ziel ist weiterhin die Darstellung eines prinzipiellen Vorgehens, wie es am Anfang eines Entwurfprozesses stehen könnte.

Um das Verfahren zu vereinfachen blieben die folgenden Entwurfsparameter des Referenzbeispiels unberücksichtigt:

1. Im Rahmen der angestrebten Forschungsziele des Projekts wurde eine Gebäudehülle konzipiert, deren wichtigste Aufgabe ihre thermische Reaktionsfähigkeit ist. Hierfür sollten Innen-, wie Aussenflächen von Hallenwand und -decke Wärmeenergie aufnehmen (bzw. abgeben) und an ein Speichersystem führen können. Dies war der Grund, wieso die Wahl auf ein Tragwerk und eine Gebäudehülle aus massiven Stahlbeton-Elementen fiel.

Eine thermische Aktivierung des Tragwerks selbst wurde in den nachfolgend beschriebenen Tragwerksalternativen nicht mehr berücksichtigt. Eine entsprechende thermische Funktionalität müsste in diesen Fällen über, für diese Zwecke geeignete zusätzliche Wand- bzw Decken-Paneele, erreicht werden.

2. An den Stegen der PI-Stützen des ETA-Hallentragwerks sind Anschweißplatten vorgesehen, an denen zu einem späteren Zeitpunkt Konsolen für eine Kranbahn angebracht werden können. Die Statik des Tragwerks ist auf eine solche Nutzung hin ausgelegt worden.

Das Einbringen einer Kranbahn hätte auf die nachfolgenden Tragwerksalternativen unterschiedliche, unter Umständen gravierende Folgen – so wäre eine Holzkonstruktion z.B. nicht ohne weiteres aufzurüsten. Da es sich in diesem Falle nur um eine Option handelt, ist auch dieser Aspekt aus Gründen der Vereinfachung bei den alternativen Fallstudien unberücksichtigt geblieben.

3. Fenster

Die Grundstruktur der ETA-Fabrik weist in jedem zweiten Hallenmodul Fensterflächen in den Seitenwänden und im Dach auf, die zur natürlichen Belichtung der Werkhalle dienen. Vergleichsmodul der Untersuchung ist jeweils das fensterlose Modul. Es wurde darauf verzichtet, die Fensterelemente in der Bilanz mitzuberücksichtigen, da davon auszugehen ist, dass die Fensterwahl von der Tragwerksausbildung weitgehend unabhängig ist.

4. Fundamente

Fundamente und Bodenplatte der Fabrik bleiben ebenfalls unberücksichtigt. Trotz des Einflusses, den die Wahl des Tragsystems ohne Zweifel auf die Fundamentart und -größe hat, schien die Einbeziehung dieses Parameters den Rahmen einer Vorentwurfsstudie zu überschreiten, wieso darauf verzichtet wurde.

Das Fallbeispiel ETA:

Tragsystem und Tragwerk

Das Tragsystem der ETA-Fabrik ist, nach Engel, schnitt-aktiv. Ein Ein-Feld-Träger bestehend aus einem 20m langen, im Querschnitt PI-förmigen Träger liegt auf zwei eingespannten Stützelementen auf, die ebenfalls einen PI-förmigen Querschnitt aufweisen. Die Trägerhöhe nimmt zur Feldmitte hin von 0,9m auf rund 1,6m zu. Die Breite eines PI-Elements beträgt 3m.

Die Innenflächen der Tragelemente, Decken-, wie Wandelemente, sind in den Bereichen zwischen den Stegen mit Kapillarrohrmatten versehen und so thermisch aktivierbar. (In den Wandelementen sind es ausschließlich die Bereiche bis zu 3m über Hallenboden). Aufgrund der einseitigen thermischen Belastung der Tragelemente, so wie der hohen Temperaturdifferenzen, die beim Durchströmen der Halleninnenflächen mit warmem oder kaltem Wasser eintreten können, muss das Tragwerk in der Lage sein hohe Verformungsbewegungen aufzunehmen. In den Auflagern der Träger musste daher eine entsprechend große Verformungstoleranz vorgesehen werden. Das Auflager des Trägerelements ist auf der Ostseite der Halle als Festlager und auf der gegenüberliegenden Seite als Gleitlager ausgebildet.

In Querrichtung schließt das nächste Module direkt an das vorherige an. Die aneinander stehenden Rückflächen der PI-Elemente bilden so Wand und Decke der Halle. Eine zusätzliche Aussteifung in Querrichtung ist daher nicht mehr nötig.

Fallbeispiel ETA – Fabrik

Bauteilkomponenten m2/NGF	%	Pges H [MJ]	Pges E [MJ]			Summe [kg]		Recycling-Gruppen	Rückbau-faktor(RF)	Instandsetzungs-zeiträume	Ersatz-zeiträume
TW I	38,53	2.087,54	2090	64,53	60	515,78	516,00	RI	D	IP75	E150
W_TW I	22,64	1.226,69	1230	22,43	20	403,24	403,00	RI	D	IP75	E150
W_C	4,21	228,17	230	9,52	10	182,67	183,00	RII	A	IP50	E150
D_TW I	30,38	1.646,08	1650	30,10	30	541,08	541,00	RI	D	IP75	E150
D_C	4,24	229,63	230	9,58	10	183,83	184,00	RII	A	IP50	E150
GESAMT	100	5.418,12	5430	136,16	130	1.826,61	1.827,00				

Abb. 7.1: Bilanzwerte von Tragwerk (TW), Wand- (W) und Dachaufbauten (D) der Fallstudie B (Stahlbau). Mit R sind diejenigen Bauteilgruppen bezeichnet deren Wiederverwendung im nächsten Zyklus möglich ist; mit IP25/50/etc diejenigen, die im Pflegeszenario nach entsprechenden Zeitintervallen teilsaniert werden müssen; mit E50/75/100 diejenigen, die in den Szenarien Rückbau und Recycling nach entsprechenden Zeitintervallen ersetzt werden müssen.

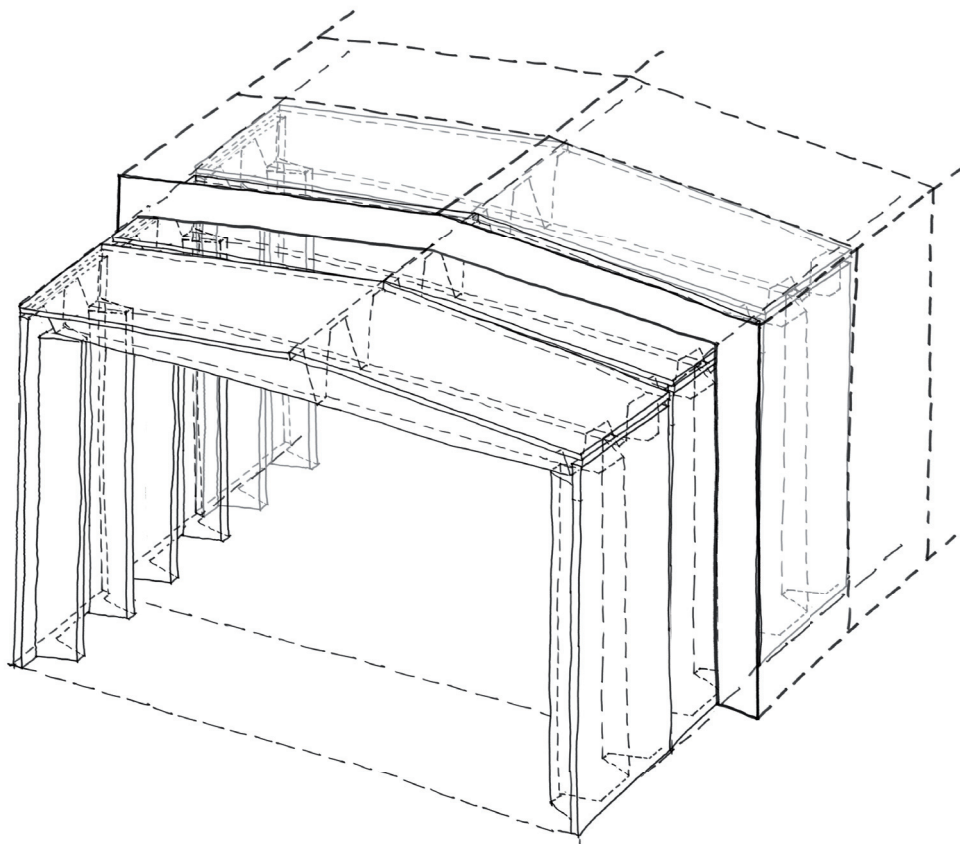


Abb. 7.2: Skizzenhafte Darstellung des Tragwerks, Fallstudie ETA-Fabrik

Eine Besonderheit des Tragwerks liegt in der Kombination mit einer zusätzlichen Dämmschicht. Die Fertigteil-Elemente werden werkseitig auf der Aussenseite mit einem feinporigen Zementschaum bedeckt, der die notwendigen Dämmeigenschaften in Wand und Dach übernimmt. In einem sogenannten ‘Frisch-auf-Fest’-Verfahren wird der Schaum direkt auf die noch nicht ganz ausgehärteten Stahlbeton-Elemente aufgebracht. Als ‘Bewehrung’ des Schaums dienen Bügel, die vor dem Guss in den noch nicht gänzlich ausgehärteten Beton gesteckt werden. Sowohl das Material, als auch das Verfahren wurde im Rahmen des Forschungsprojekts erstmalig ausgeführt¹.

¹ Eine Evaluation steht noch aus. Aber schon jetzt kann man aus den Erfahrungen der bisherigen Baupraxis feststellen, dass die Verarbeitung des Materials auf der Baustelle, aufgrund seiner porösen Konsistenz schwer zu bewerkstelligen ist. Eine Anwendung in Form von gefüllten Fertigteilen wäre aus dieser Sicht vorzuziehen.

Wandaufbau

Das robuste Material erlaubt einen denkbar einfachen Wandaufbau. Das kombinierte Fertigteillement aus PI-Platte und Zementschaum übernimmt statische und isolierende Aufgaben in einem. Weitere Schutzschichten in Form von Folien etc sind nicht nötig. Im Wandbereich beträgt die Dicke des Zementschaums 30cm. Damit wird ein u-Wert von 2,55 W/m²K erreicht.

Den Witterungsschutz bilden 10m hohe, 1,50m breite und 5cm starke Fertigteillemente aus ultrahochfestem Beton. Die Fugen der vorgehängten Fassade sind nicht geschlossen, da die Isoliereigenschaft des Zementschaums feuchteunempfindlich ist. Die im Vergleich zu den anderen Alternativen vergleichsweise aufwendigen Stahlkonsolen für die Aufhängung der Fassadenplatten bleiben in der Bilanz unberücksichtigt, sollten hier aber zumindest erwähnt werden.

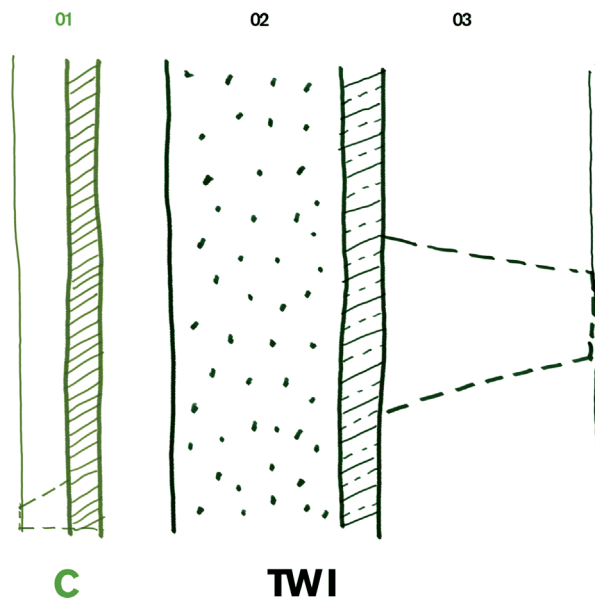


Abb. 7.3: Skizzenhafte Darstellung des Wandaufbaus, Fallstudie ETA-Fabrik

ETA							Wand	0
	Schicht	d in [mm]	%	Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]	Bauteilkomponente
1	UHPC-Beton - Fassadenplatte	60 - 160	98,00	88,10	8,64	96,74	155,30	C
	Bewehrungsmatte	60 - 160	2,00	119,00	00	119,00	10,50	C
2	Zementschaum (40% Zementanteil)	300,00	40,00	1.113,40	20,36	1.133,76	366,00	TWI
3	PI-Platten Fertigteilstützen (2Stck)			36.717,00	1.531,00	38.248,00	29.399,40	TWI
Bauteilkomponenten / m2				Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]	
W_TW I				1.113,40	20,36	1.133,76	366,00	
W_C				207,10	8,64	215,74	165,80	
Bauteilkomponenten / 62,8 m2								
W_TW I				69.921,52	1.278,61	71.200,13	22.984,80	
W_C				13.005,88	542,59	13.548,47	10.412,24	

Abb. 7.4: Tabellarische Erfassung und Bilanzierungen der Bauteilschichten des Wandaufbaus, Fallstudie ETA-Fabrik

Dachaufbau

Der Dachaufbau unterscheidet sich nur wenig von dem der Wand. Das kombinierte Fertigteilelement aus PI-Träger und Zementschaumschicht übernimmt statische und isolierende Aufgaben. Die Schichtdicke des Zementschaums beträgt in der Dachfläche 40cm. Das leicht geneigte Dach ist als Kaltdach konzipiert, mit einer Luftschicht zwischen Dämmebene und Dichtebene. Die Dichtebene wird analog zur Wand von Fertigteilelementen aus ultrahochfestem Beton gebildet. Die Plattengröße beträgt ebenfalls 10m x 1,5m x 5cm. Die Fugen zwischen den Platten, sowie der First wurden mit Zinkblech verkleidet.

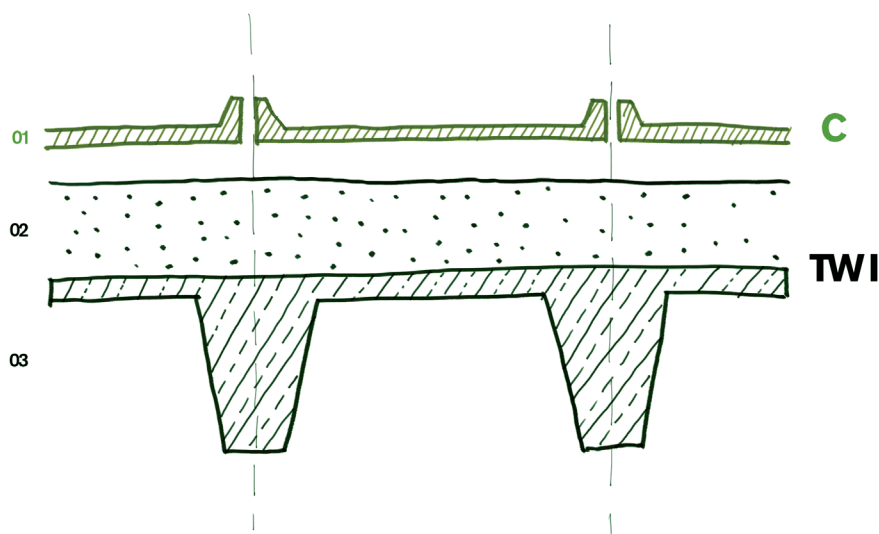


Abb. 7.5: Skizzenhafte Darstellung des Dachaufbaus, Fallstudie ETA-Fabrik

ETA				Dach				0
		d in [mm]	%	Pges H [MJ]	Pges E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]	Bauteilkomponente
1	UHPC-Beton - Fassadenplatte	60 - 210	98,00	88,10	8,64	96,74	155,30	C
	Bewehrungsmatte	60 - 210	2,00	119,00	00	119,00	10,50	C
3	Hinterlüftung	120,00						C
4	Zementschaum (40% Zementanteil)	400,00	40,00	1.484,60	27,15	1.511,75	488,00	TWI
5	PI-Platten Fertigteilträger			82.273,00	2.147,00	84.420,00	43.984,80	TW I
Bauteilkomponenten / m2				Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]	
D_TW I				1.484,60	27,15	1.511,75	488,00	
D_C				207,10	8,64	215,74	165,80	
Bauteilkomponenten / 63,2 m2								
D_TW I				93.826,72	1.715,88	95.542,60	30.841,60	
D_C				13.088,72	546,05	13.634,77	10.478,56	

Abb. 7.6: Tabellarische Erfassung und Bilanzierungen der Bauteilschichten des Dachaufbaus, Fallstudie ETA-Fabrik

Rückbau-Szenario:

Der Verlauf der Kurve, sowie die Zusammensetzung der sie definierenden Werte werden im Kapitel Lebenszyklusszenarien beschrieben und entsprechen dem Graph in Abb. 6.1. und der Tabelle in Abb. 6.2..

Ausschlaggebend für die Intervalle, in denen Bauteilgruppen bei längeren Zykluslängen ersetzt werden müssen, sind die in Tabelle 7.1. unter Lebensdauer mit En gekennzeichneten Bauteilgruppen, wobei n die angenommene Lebensdauer des Bauteils in Jahren darstellt.

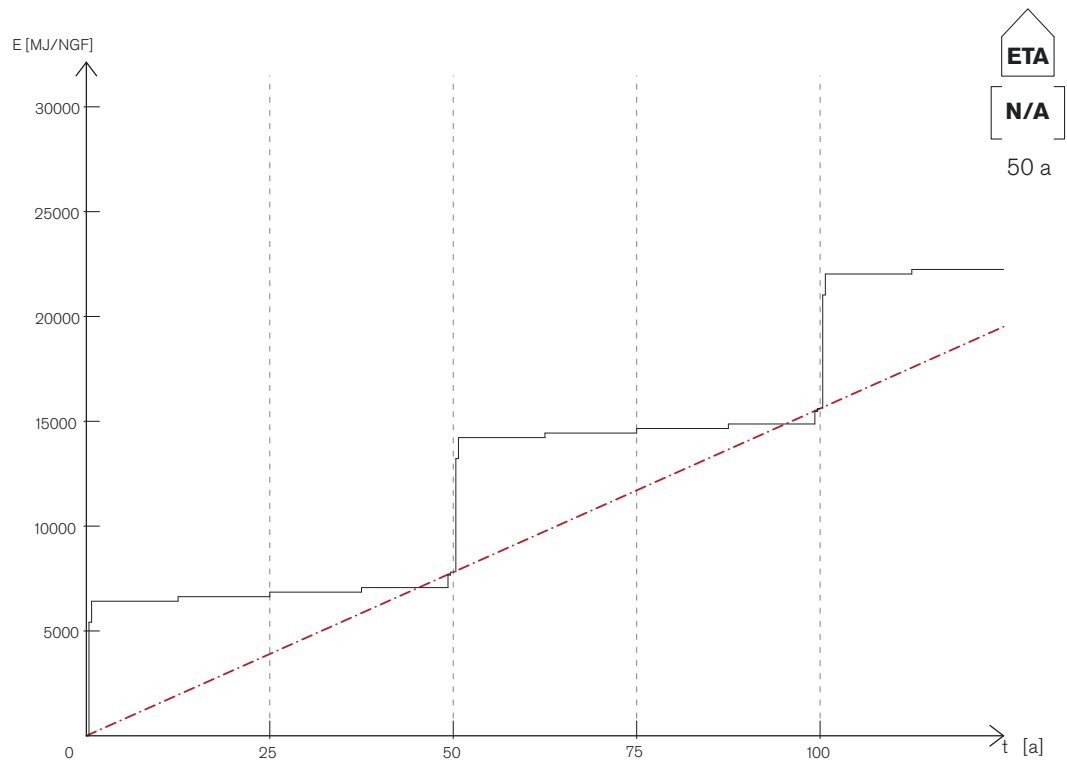
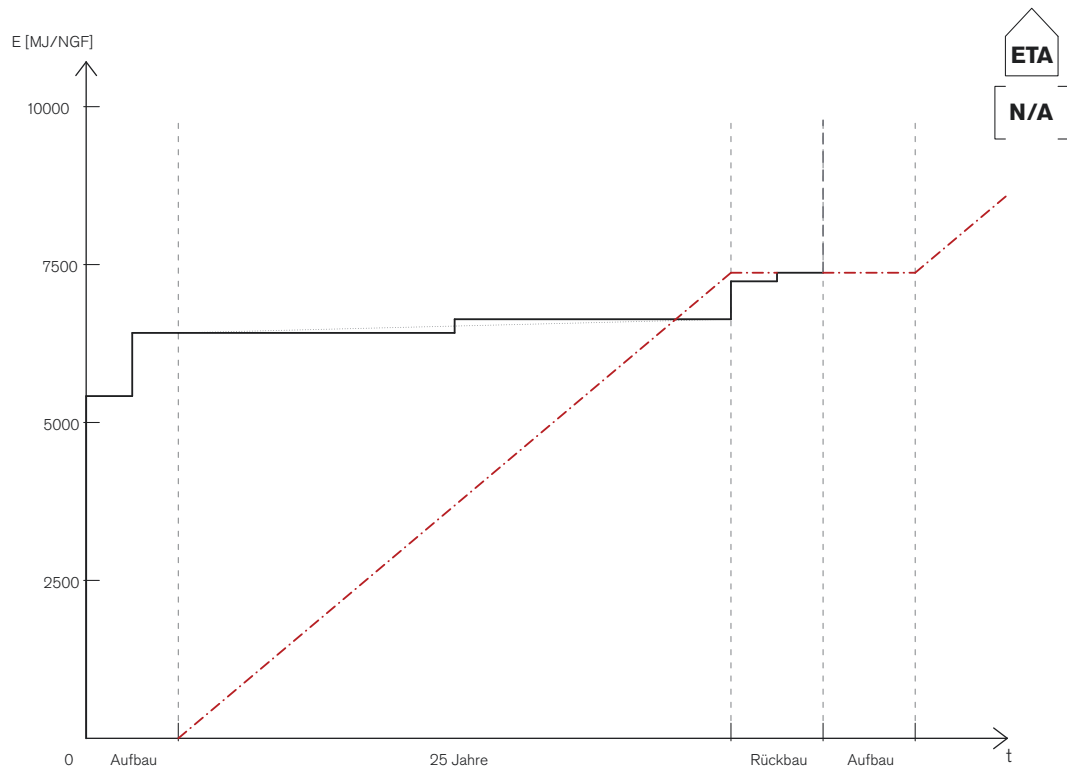
Im Falle der ETA-Fabrik wird davon ausgegangen, dass alle Bauteile, da sie aus Stahlbeton konzipiert wurden, eine technische Lebenserwartung von 150 Jahren besitzen. Danach müssen sie ersetzt werden.

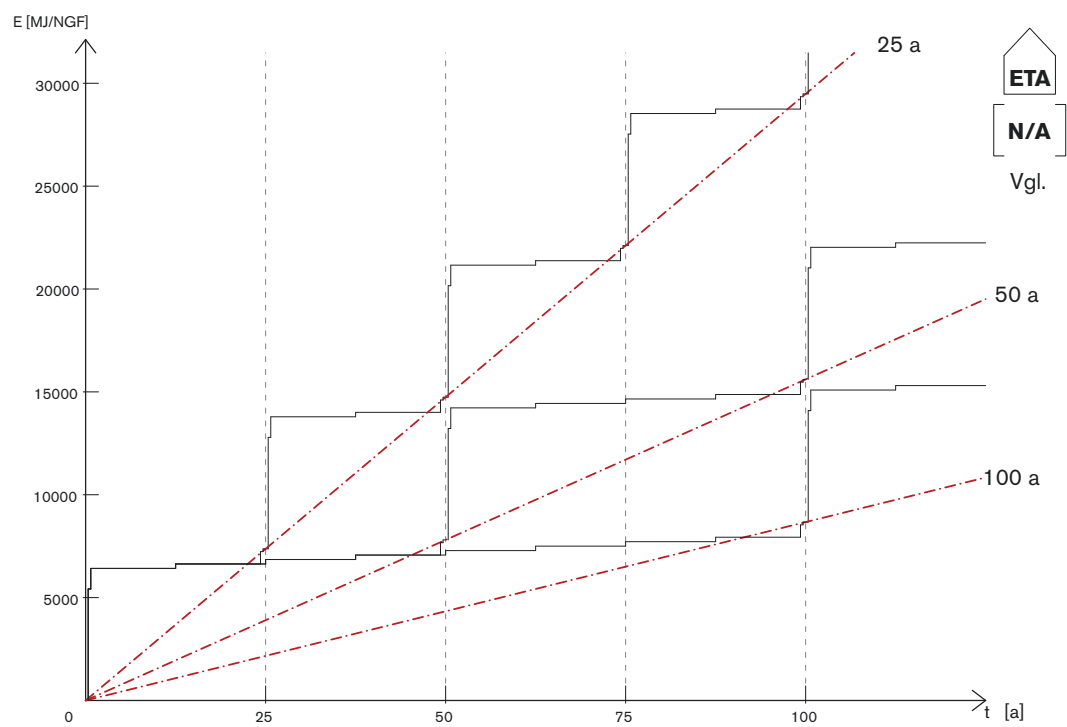
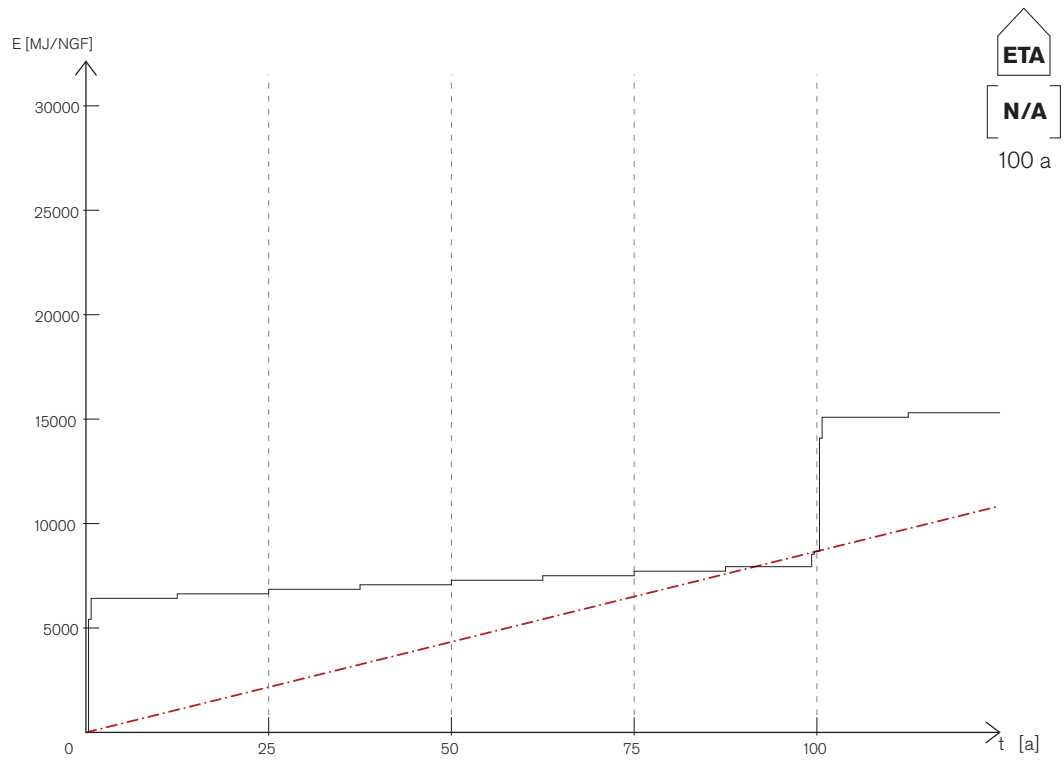
Die Kurven mit den entsprechenden Lebenszyklusverläufen bei Zyklusintervallen von 25, 50 und 100 Jahren sind in den Abb. 7.7, 7.9 und 7.10 zu sehen.

Recycling-Szenario:

Fallbeispiel ETA-Fabrik – Rückbau-Szenario					
[N/A]	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	5.418,12
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	–	1000 MJ/NGFa
B	Bn	Gesamter Aufwand für minimale Instandhaltung in tn	eigene Annahme	4% PgesH	216,72
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	8,67
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	tn	25/50/75/100/125/150/175
C	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	60% A4-5	600 MJ/NGFa
	C3	Entsorgung (Baustoffe)	eLCA	PgesE	136,16
	D				
	E150	Ersatz nach 150 Jahren	eLCA	PgesH(E100)	5.418,12
Q	25	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D])/tn+P$			294,84
	50	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D])/tn+P$			151,75
	75	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50)/tn+P$			104,06
	100	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50+E75)/tn+P$			80,21
	125	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50x2+E75+E100)/tn+P$			65,90
	150	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50x2+E75+E100)/tn+P$			56,36
	175	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50x3+E75x2+E100+E150)/tn+P$			80,51

Abb. 7.8: Tabellarische Erfassung der Input- und Outputströme, samt Quellenangabe der Daten, sowie der sich ergebenden Q-Werte.





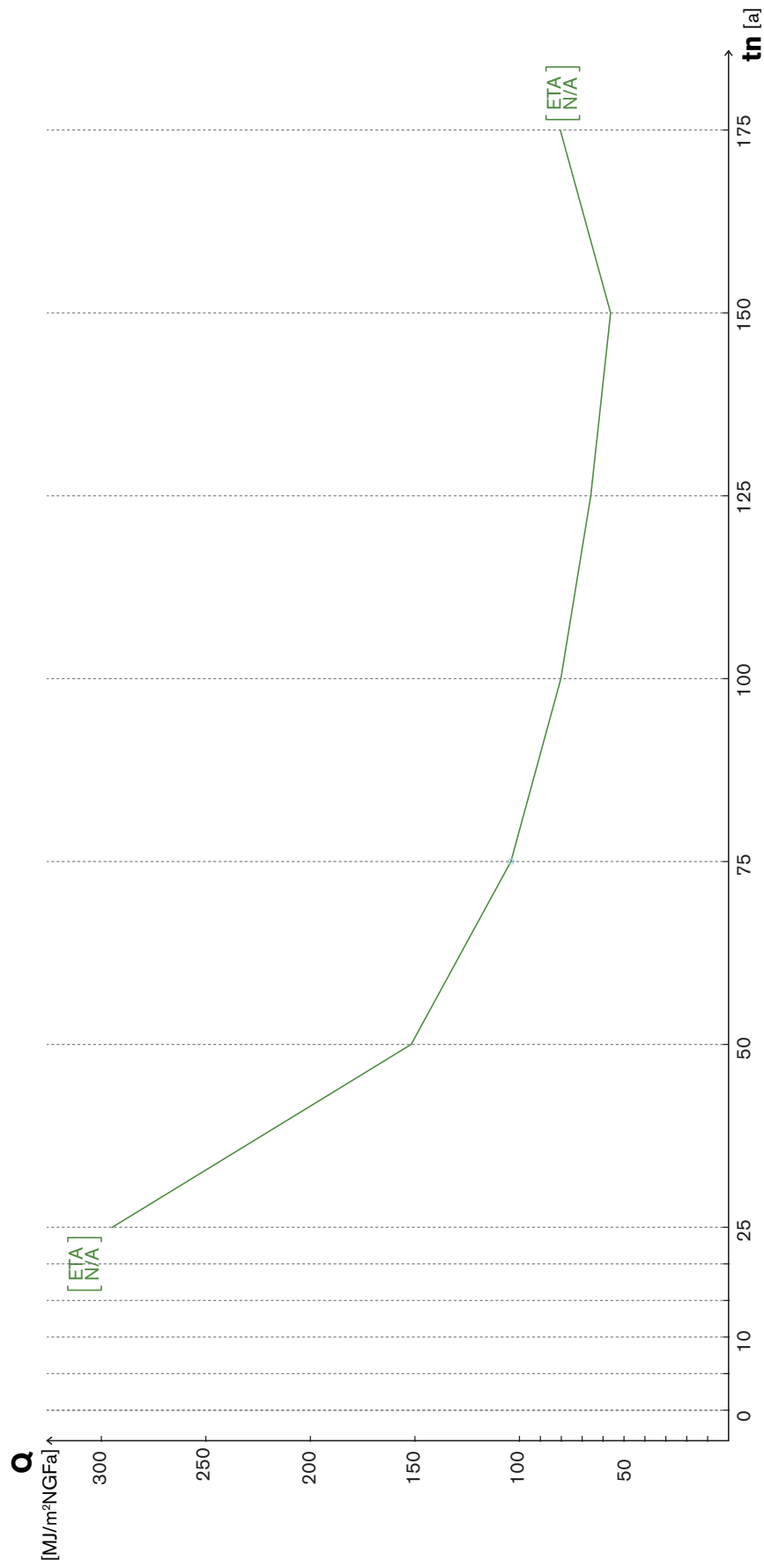


Abb. 712: Q-Werte im Rückbau-Szenarios, Fallstudie ETA-Fabrik

Der Verlauf der Kurve, sowie die Zusammensetzung der sie definierenden Werte werden im Kapitel Lebenszyklusszenarien beschrieben und entsprechen dem Graph in Abb.6.3. und der Tabelle in Abb.6.4..

Der Wandaufbau und Dachtragwerk können in zwei recycelfähige Bauteilgruppen unterteilt werden, die in der zusammenfassenden Tabelle Abb.9.1 entsprechend als Recyclingfähig (RI,RII) bewertet werden:

1. Das Tragwerk aus PI Stützen und Trägern, samt dämmender Zementschaumschicht.

2. Die Fassaden- und Dachplatten aus ultrahochfestem Beton.

Somit ist das Tragwerk der ETA-Fabrik zu 100% als recyclingfähig einzustufen.

Allerdings unterscheidet sich der an die jeweilige Gruppe vergebene Rückbau-Faktor (RF). Das Tragwerk mit seinen eingespannten Stützen kann nur unter teilweiser Zerstörung rückgebaut werden, bekommt daher den schlechtesten Rückbau-Faktor ($RF=D$) und muss mit entsprechendem Aufwand wiederhergestellt werden (siehe C3 in Tabelle, Abb. 7.14), während die Fassaden- und Dachplatten aufgrund ihrer Fügung (aufgehängt bzw. aufgelegt) bei entsprechender Vorsicht beinahe verlustfrei wiederverwendet werden können.

Bei längeren Lebenszyklen müssen, wie im Rückbau-Szenario, zu ersetzende Bauteilgruppen berücksichtigt und im Verlauf der Kurve abgebildet werden.

Die Kurven mit den entsprechenden Lebenszyklusverläufen bei Zyklusintervallen von 25, 50 und 100 Jahren sind in den Abb. 7.13, 7.15 und 7.16 zu sehen. In den Abb. 7.17 und 7.18 ist unter der Bezeichnung R2 der entsprechende Kurvenverlauf zu sehen, unter der Prämisse, dass das Tragwerk ebenfalls zerstörungsfrei rückgebaut werden könnte.

Fallbeispiel ETA-Fabrik – Recycling-Szenario R1					
R1	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	5.418,12
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	–	1000 MJ/NGFa
	RA(Rn)	recyceltes Material der Bauteilgruppen Rn	eLCA	PgesH(RA)	5418,12
	AR	nicht recyceltes Material	eLCA	PgesH(A1-3)-PgesH(RA)	0,00
B	Bn	Gesamter Aufwand für minimale Instandhaltung in tn	eigene Annahme	4% PgesH	216,72
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	8,67
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25 a	25/50/75/100/125/150
C	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	60% A4-5	600 MJ/NGFa
	C3	Instandsetzung von RA – dF-Werte siehe Tabelle ...	eigene Annahme	$RA(RI) \times 0,3(dRF-D) + RA(RII) \times 0(dRF-A) + 30\%RA$	3113,53
	D	Entsorgung von AR	eLCA	PgesE(AR)	136,16
	E150	Ersatz nach 150 Jahren	eLCA	PgesH(E150)	5418,12
Q	tn=25				202,66
	tn=50				105,66
	tn=75				73,33
	tn=100				57,17
	tn=125				47,47
	tn=150				41,00
	tn=175				67,34

Abb. 7.14: Tabellarische Erfassung der Input- und Outputströme, samt Quellenangabe der Daten, sowie der sich ergebenden Q-Werte.

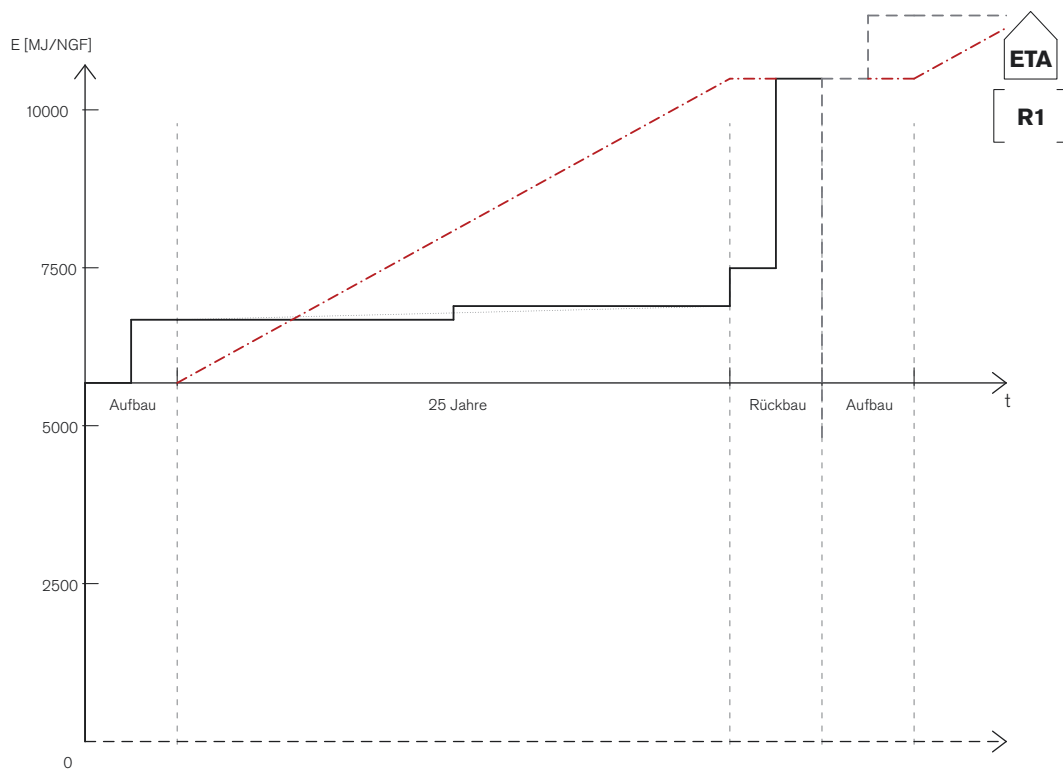
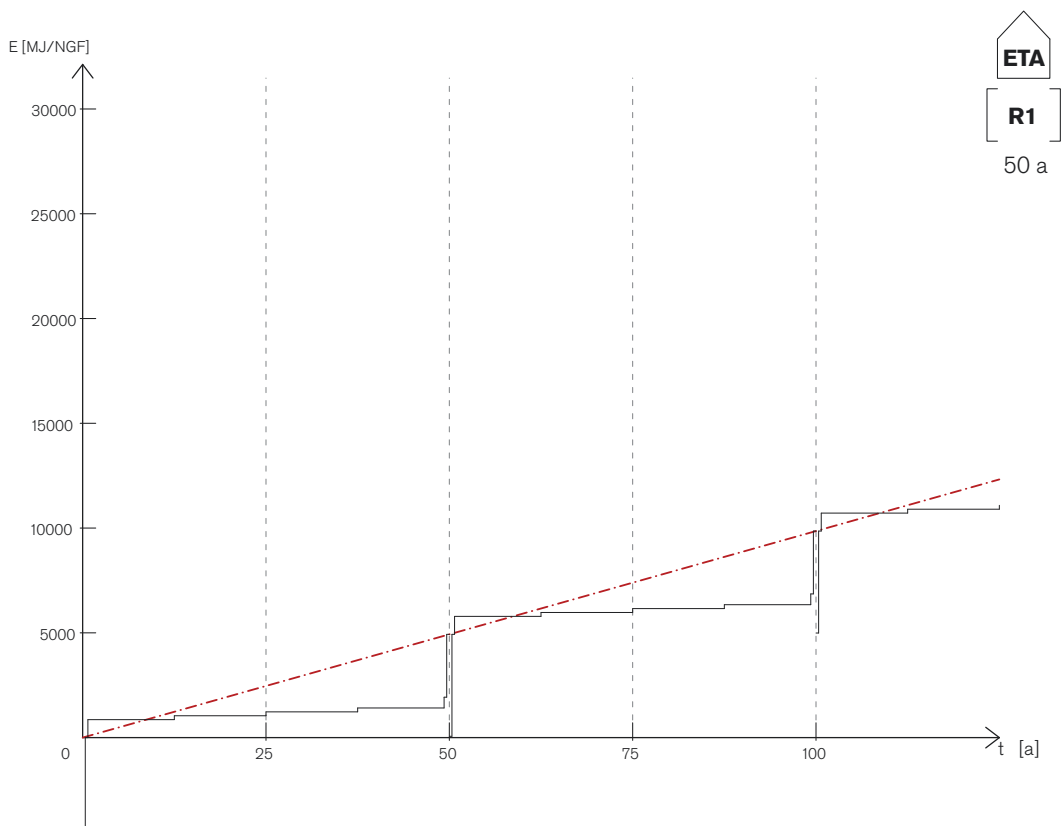
Abb. 7.13: Lebenszyklusverlauf der Fallstudie ETA-Fabrik, Recycling-Szenario, $t_n=25$ Jahre

Abb. 7.15: 50-Jahre Zyklus, Fallstudie ETA-Fabrik, Recycling-Szenario (R1)

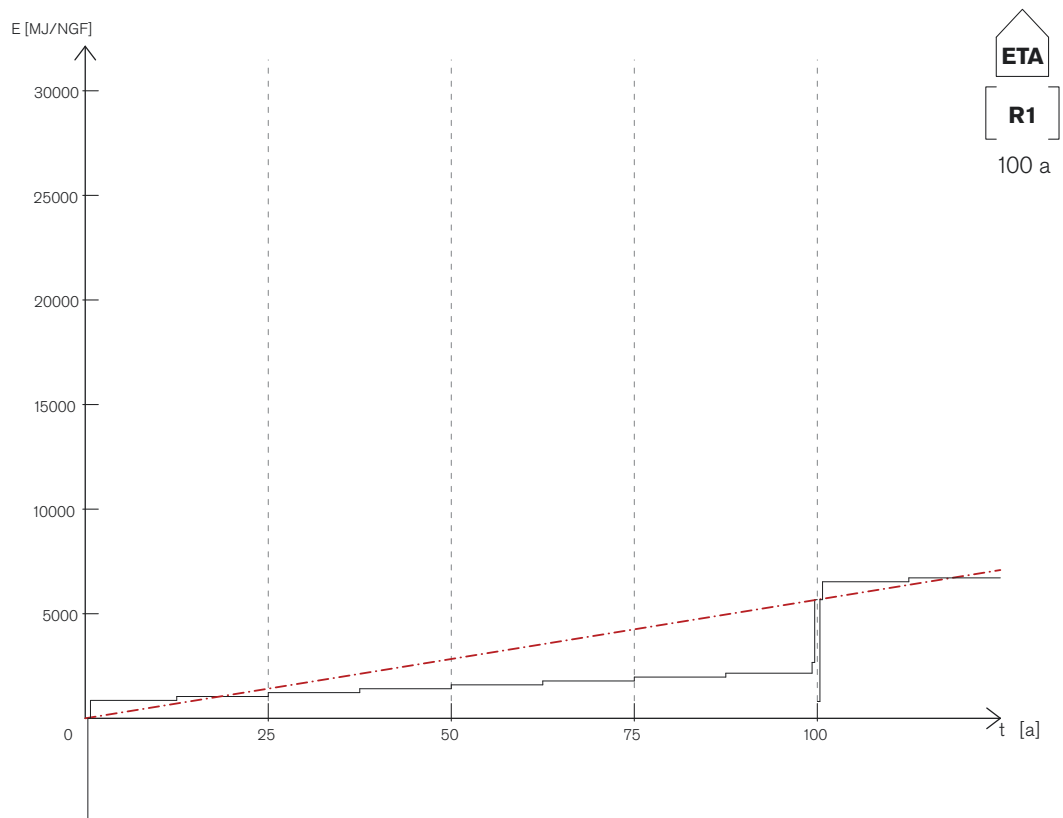


Abb. 7.16: 100-Jahre Zyklus, Fallstudie ETA-Fabrik, Recycling-Szenario (R1)

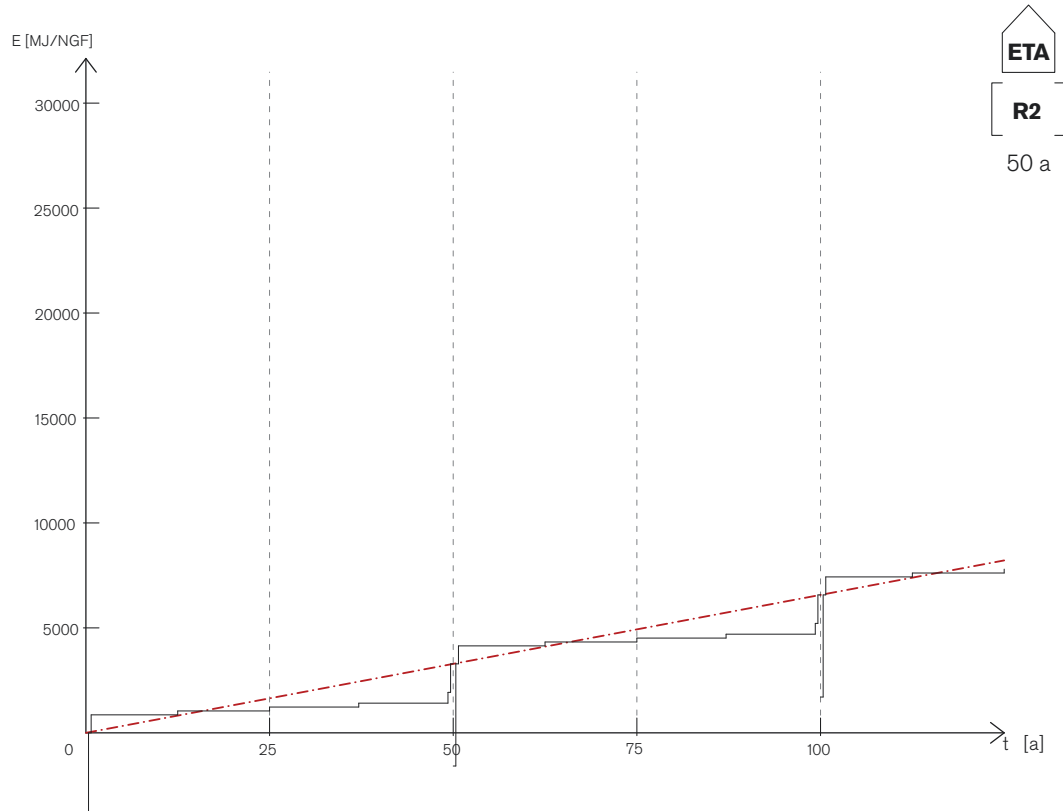


Abb. 7.17: 50-Jahre Zyklus, Fallstudie ETA-Fabrik, Recycling-Szenario (R2)

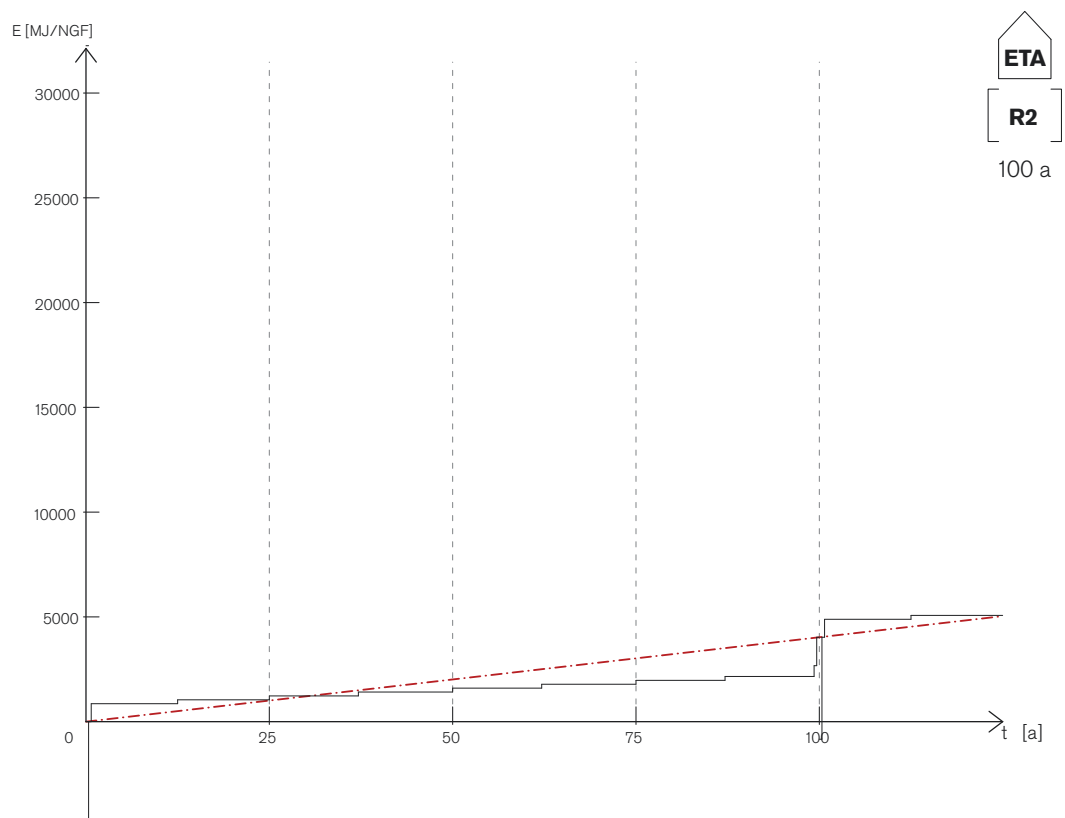


Abb. 7.18: 100-Jahre Zyklus, Fallstudie ETA-Fabrik, Recycling-Szenario (R2)

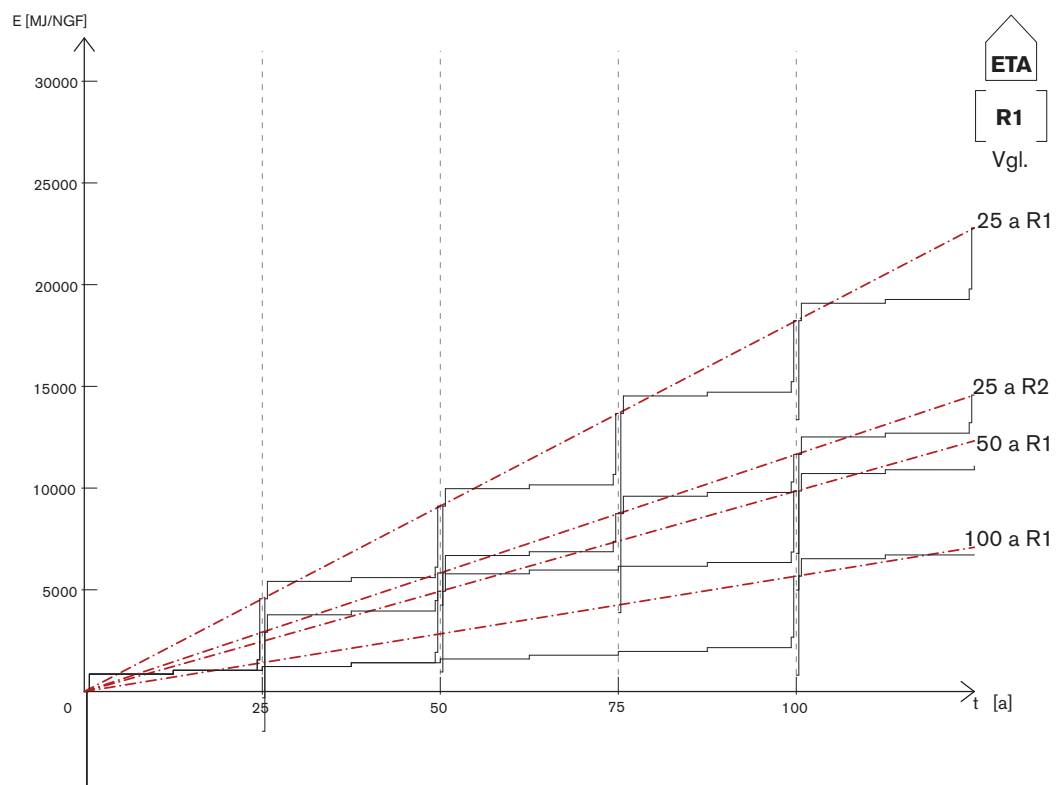


Abb. 7.19: Vergleich des 25-Jahre, 50-Jahre und 100-Jahre Zyklus, Fallstudie ETA-Fabrik, Recycling-Szenario

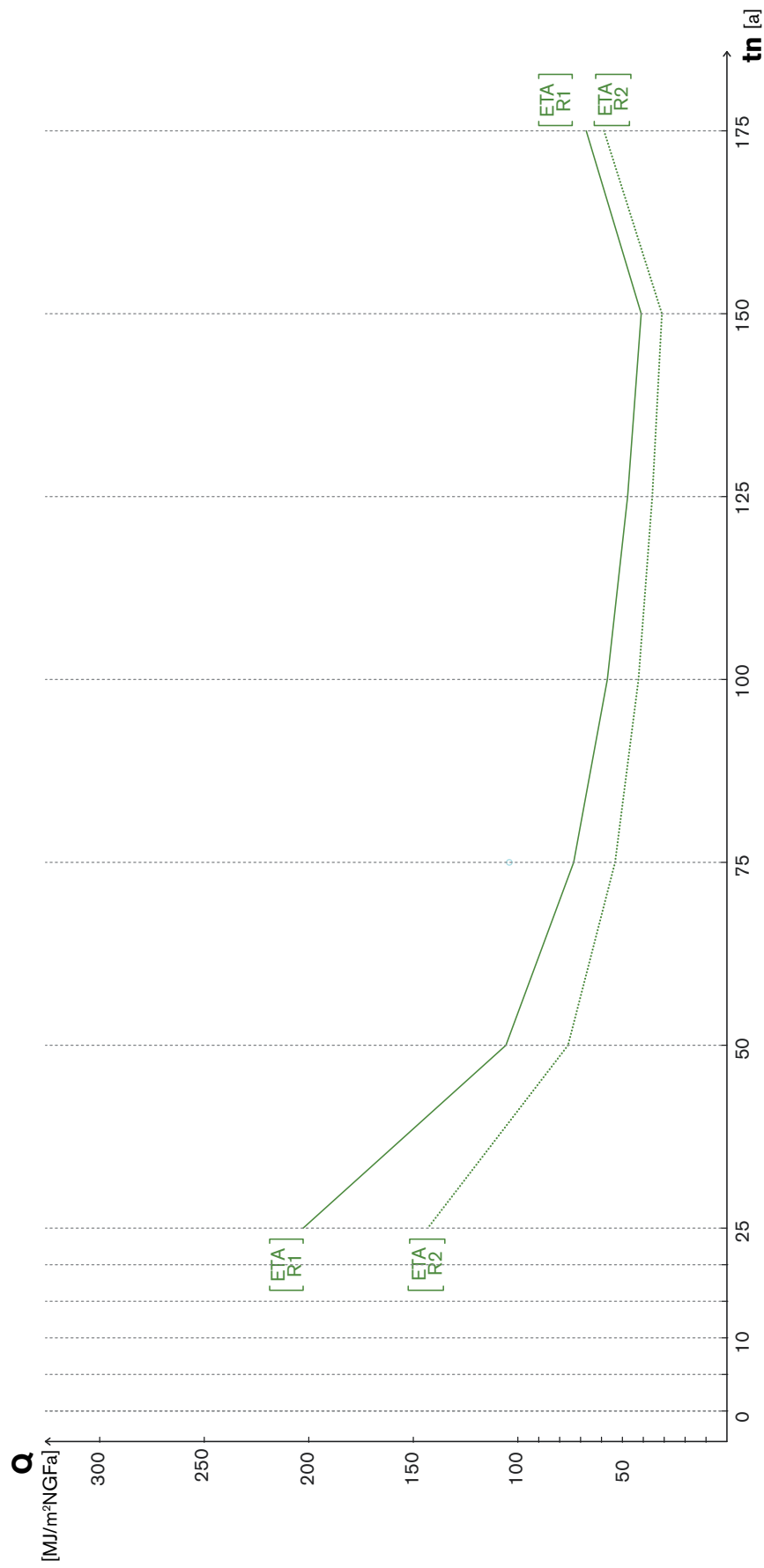


Abb. 7.20: Q-Werte im Recycling-Szenario, Fallstudie ETA-Fabrik

Pflege-Szenario

Der Verlauf der Kurve, sowie die Zusammensetzung der sie definierenden Werte werden im Kapitel Lebenszyklusszenarien beschrieben und entsprechen dem Graph in Abb.6.7. und der Tabelle in Abb.6.8..

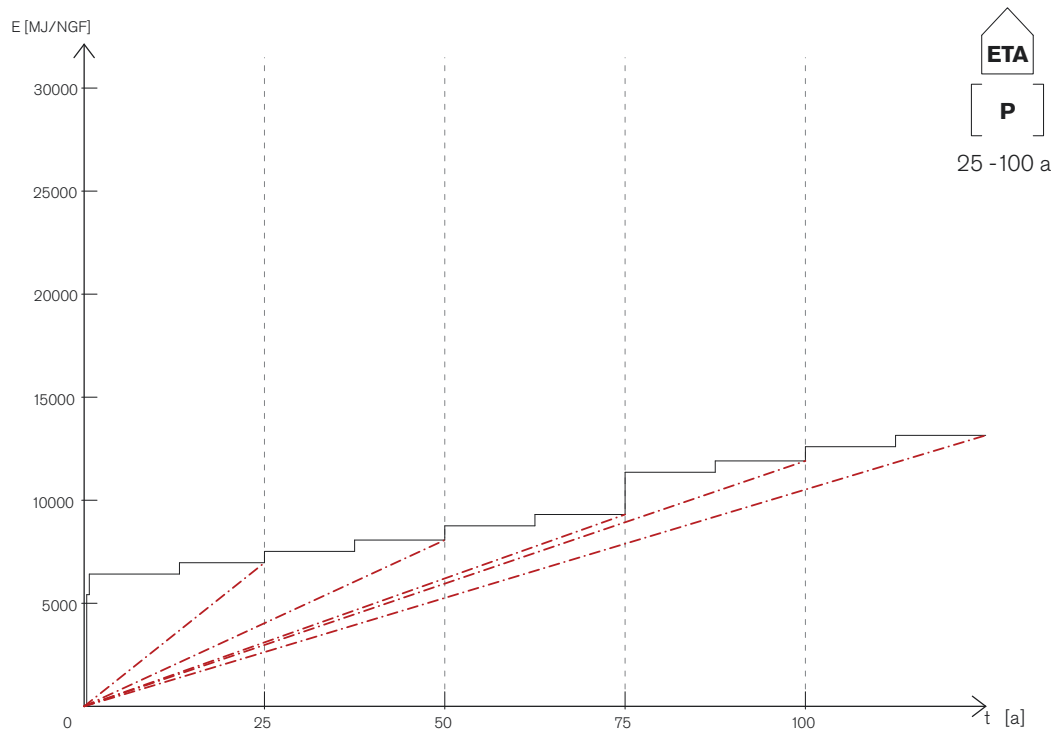
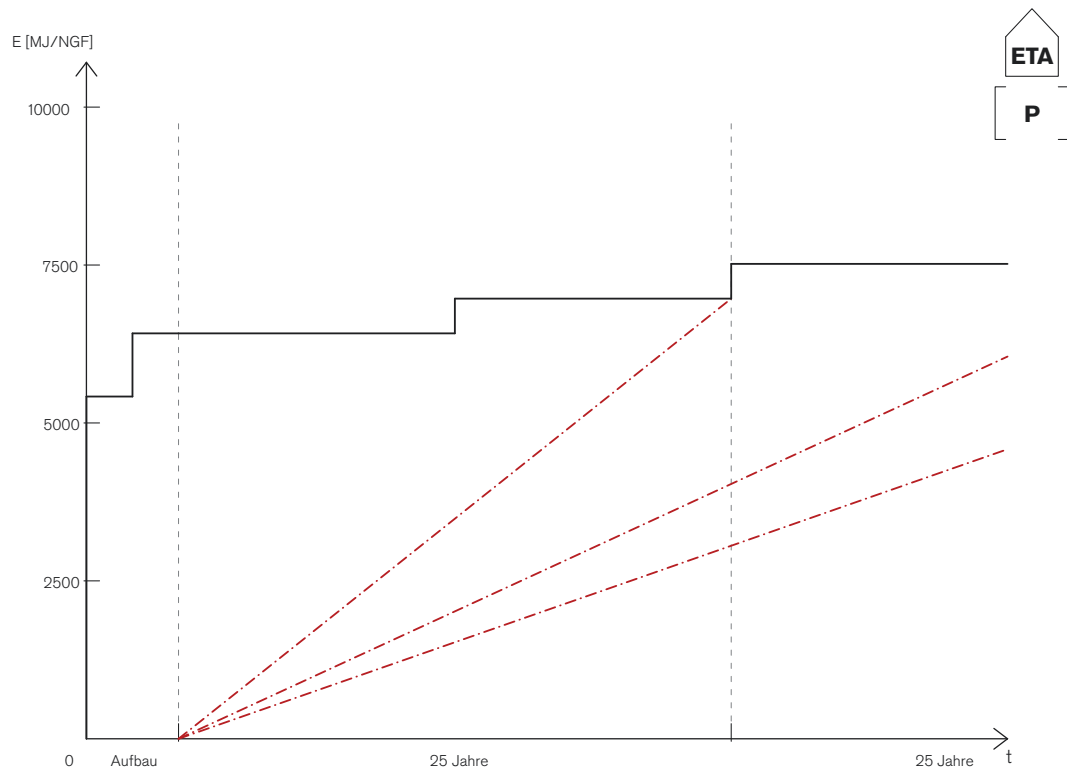
Im Gegensatz zum Rückbau-Szenario geht das Pflege-Szenario von einer kontinuierlichen Pflege des Bauwerks mit dem Ziel einer dauerhaften Nutzung aus. Die Kurve bildet daher keine Zyklen ab, sondern wird kontinuierlich fortgeschrieben.

Relevant für die energetischen Kosten des Bauwerks sind ein deutlich höherer Pflegeaufwand während den Nutzungsphasen und kürzere Instandsetzungszyklen, zu denen entsprechende Bauteilgruppen teilsaniert werden (30% der Herstellungsenergie). Im Falle der ETA-Fabrik wird bei diesem Szenario zwischen den Bauteilgruppe Tragwerk und Fassade unterschieden. Während für das Tragwerk ein Zyklus von 75 Jahren angesetzt wird, ist davon auszugehen, dass die Fassade in diesem Fall höheren Anforderungen unterliegt, die sich nicht allein auf ihre technische Leistungsfähigkeit beziehen, sondern auch auf ihre Erscheinungsbild. Hier wird von einem kürzeren Instandsetzungsintervall ausgegangen (50 Jahre).

Die Kurve mit dem entsprechenden Lebenszyklusverlauf und unterschiedlichen $Q=E/t$ Werten in einem Zeitfenster von 25-100 Jahren ist in Abb. 7.23. zu sehen.

Fallbeispiel ETA-Fabrik – Pflege-Szenario					
[P]	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	5.418,12
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	–	1000 MJ/NGFa
B	Bn	Gesamter Aufwand für Instandhaltung in tn	eigene Annahme	10% PgesH	541,81
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	21,67
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25-125	
C	IP50	Instandsetzungspaket nach 50 Jahren (Fassade,Dach)	eigene Annahme	IP50=30%PgesG von IP50	137,34
	IP75	Instandsetzungspaket nach 75 Jahren (Tragwerk)	eigene Annahme	IP75=30%PgesG von IP75	1488,10
Q	tn=25	$(AR+1000+600+C3+D)÷25+P$			278,40
	tn=50	$(AR+1000+600+C3+D)÷50+P$			150,03
	tn=75	$(AR+1000+600+C3+D+IP50)÷75+P$			109,08
	tn=100	$(AR+1000+600+C3+D+IP50+IP75)÷100+P$			102,11
	tn=125	$(AR+1000+600+C3+D+2×IP50+IP75)÷125+P$			87,12
	tn=150	$(AR+1000+600+C3+D+2×IP50+IP75)÷150+P$			76,21
	tn=175	$(AR+1000+600+C3+D+3×IP50+2×IP75)÷175+P$			77,71

Abb. 7.22: Tabellarische Erfassung der Input- und Outputströme, samt Quellenangabe der Daten, sowie der sich ergebenden Q-Werte.



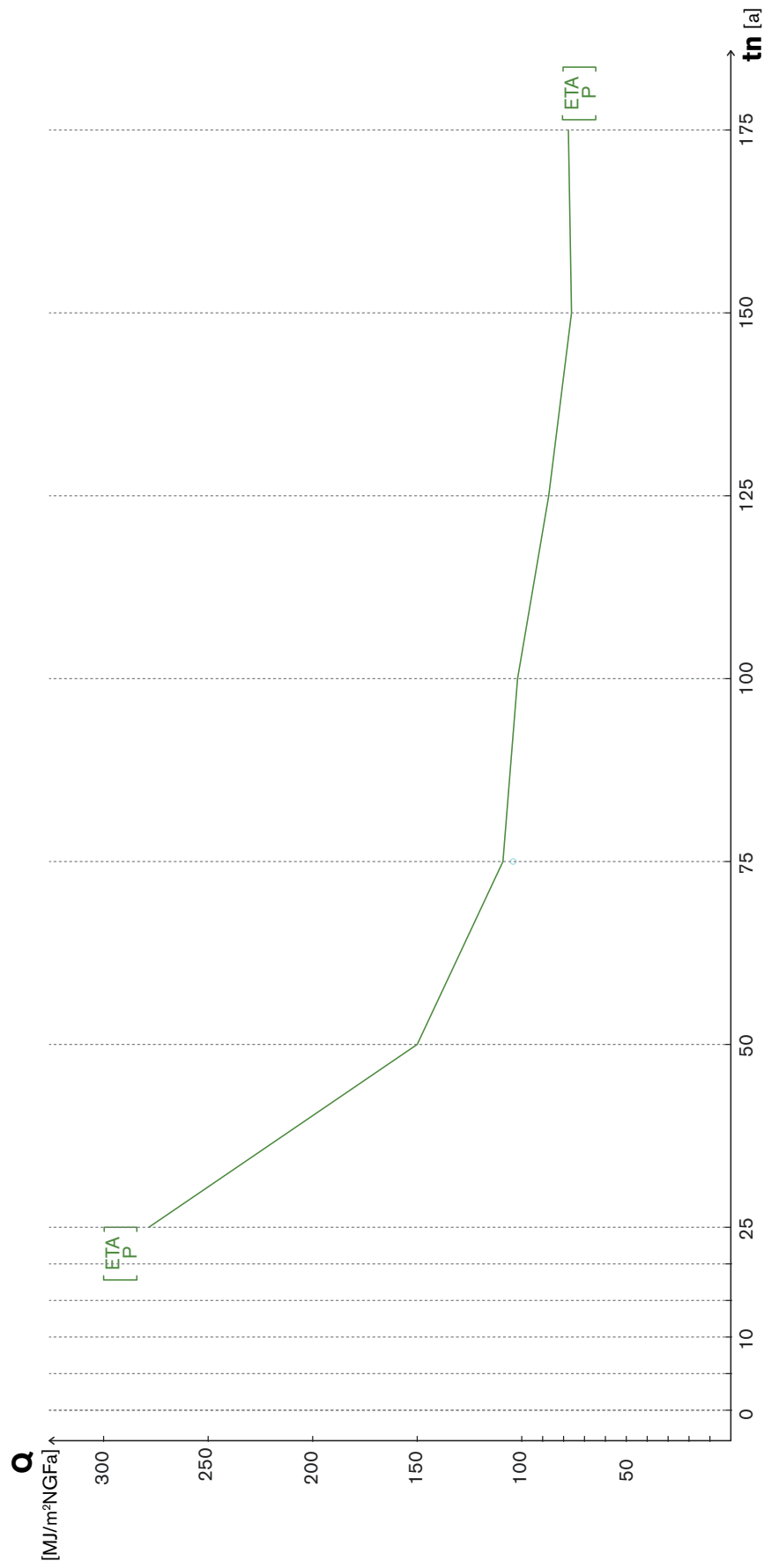


Abb. 7.24: Q-Werte im Pflege-Szenario, Fallstudie ETA-Fabrik

Fallbeispiel A – Holzbau

Alternative A in Holzbauweise:

Das Hallentragwerk der Fallstudie A ist als Holzbau konzipiert, eine Bauweise die gerade für kleinere Industriehallen mit geringeren Spannweiten mittlerweile auch in Deutschland häufig zur Anwendung kommt. Bei dieser Fallstudie wurde versucht, soweit es möglich war bei allen Funktionsschichten des Wand- und Dachaufbaus auf Holzmaterialien zurückzugreifen.

Fallbeispiel A – Holzfachwerkrahmen

Bauteilkomponenten m ² /NGF	%	Pges H [MJ]		Pges E [MJ]		Summe [kg]		Recycling -Gruppen	Rückbau- Faktor (RF)	Instandsetzungs- zeiträume		Ersatz- zeiträume	
TW I	14,89	755,42		-341,51		26,73		R1	A	IP75	206,96	E100	413,91
W_TW II	19,85	1.007,00	1010	-293,64	-290	28,36	28,00	R1	A	IP50	460,98	E75	921,96
W_A	9,33	473,58	470	-237,59	-240	18,61	19,00	R1	A				
W_B	10,97	556,41	560	-583,80	-580	20,05	20,00	E					
D_TW II	22,48	1.140,73	1140	-361,74	-360	33,73	34,00	R1	A	IP25	411,96	E50	1.373,20
D_A	1,55	78,43	80	-40,97	-40	3,20	3,00	E					
D_B	8,21	416,77	420	-237,18	-240	9,88	10,00	E					
D_C	12,72	645,28	650	-268,12	-270	29,15	29,00	E					
GESAMT	100	5.073,62	4330	-2364,55	-2020	169,71	143,00						

Abb. 8.1: Bilanzwerte von Tragwerk (TW), Wand- (W) und Dachaufbauten (D) der Fallstudie A (Holzbau). Mit R sind diejenigen Bauteilgruppen bezeichnet deren Wiederverwendung im nächsten Zyklus möglich ist; mit IP25/50/etc diejenigen, die im Pflegeszenario nach entsprechenden Zeitintervallen teilsaniert werden müssen; mit E50/75/100 diejenigen, die in den Szenarien Rückbau und Recycling nach entsprechenden Zeitintervallen ersetzt werden müssen.

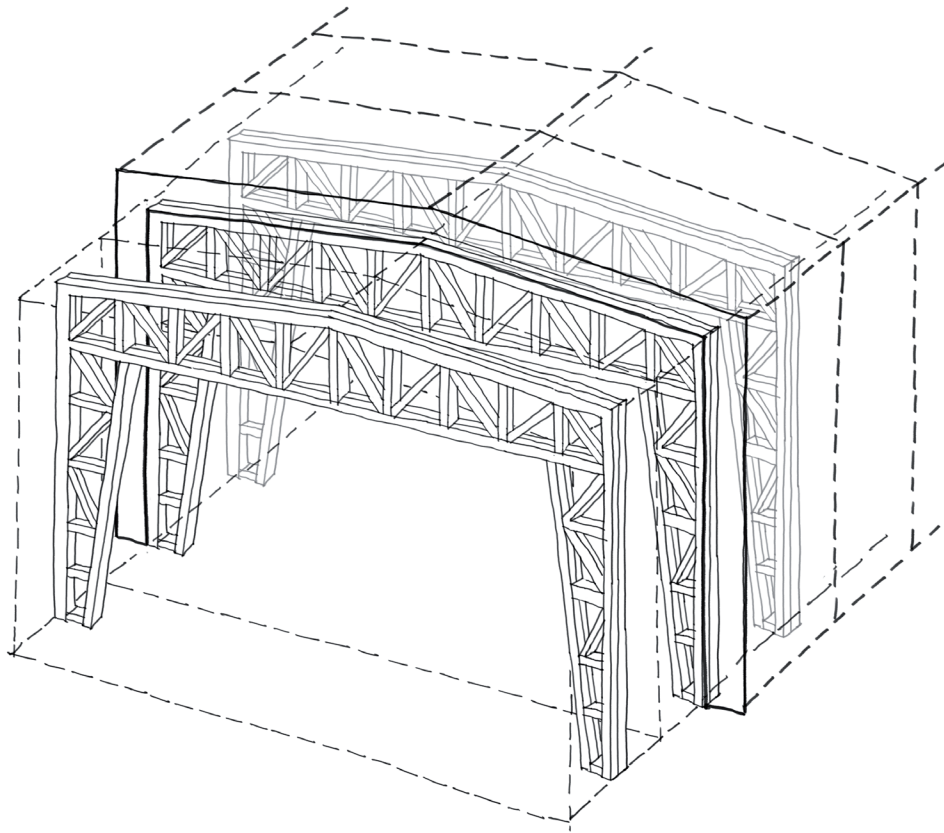


Abb. 8.2: Skizzenhafte Darstellung des Tragwerks, Fallstudie A (Holzbau)

Tragsystem und Tragwerk:

Der Hauptträger des Tragwerks ist, nach Engel, als 2-Gelenk-Rahmen in Fachwerkbauweise geplant. Für die Stäbe des Fachwerks kommt unbehandeltes Konstruktionsholz mit einfachen Querschnitten von 6 cm x 12 cm bzw. 12 cm x 12 cm zur Anwendung¹.

Die Fusspunkte des Fachwerkrahmens sind gelenkig ausgeführt. Die Aussteifung in Querrichtung erfolgt über einen Verband aus diagonalen Zugseilen der direkt an den Fachwerkrahmen angebracht wird und vor der Wandinnenfläche verläuft. Das Achsraster der Rahmen beträgt in Analogie zum Referenzbeispiel der ETA-Fabrik 3m.

Als sekundäres Tragwerk dienen Kanthölzer (60/120) welche auf die Fachwerkelemente im Abstand von $a=80\text{cm}$ aufgebracht sind.

¹ Aufgrund des hohen Energieeinsatzes bei der Herstellung von Leimbindern wurde der Fachwerkvariante hier der Vorzug gegeben.

Wandaufbau / Fassade:

Die Witterungsschicht bildet eine hinterlüftete, vertikale Holzverschalung aus unbehandeltem Lärchenholz. Als Dämmschicht kommt eine Holzfaserdämmplatte zum Einsatz, während die Innenwandverkleidung aus einem robusten und dampfdiffusionsdichten Multiplex-Plattenmaterial gefertigt ist.

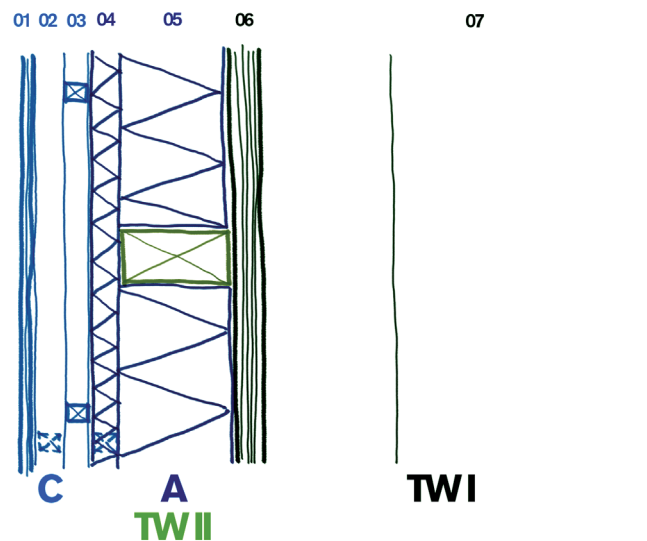


Abb. 8.3: Skizzenhafte Darstellung des Wandaufbaus, Fallstudie A (Holzbau)

Holzfachwerk							Wand	A1
Schicht	d in [mm]	%	Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]	Bauteilkomponente	
1 Schnittholz Lärche (12% Feuchte/10,7% H2O) - Verschalung	20,00	100,00	340,00	- 168,91	171,09	13,22	C	
2 Schnittholz Fichte (12% Feuchte/10,7% H2O)	60,00	10,00	70,74	- 36,95	33,79	2,89	C	
3 Schnittholz Fichte (12% Feuchte/10,7% H2O)	18,00	9,00	19,10	- 9,79	9,31	0,78	C	
Holzfaserdämmplatte Kronotherm flex - Kronoply	18,00	91,00	31,09	- 17,69	13,40	0,73	A	
4 Schnittholz Kiefer (12% Feuchte/10,7% H2O)	120,00	9,00	144,57	- 75,76	68,81	5,92	TWII	
Holzfaserdämmplatte (Trockenverfahren) Thermowall -	120,00	91,00	473,93	- 512,19	- 38,26	17,47	A	
5 Drei-Schichtholzplatte	42,00	100,00	769,43	- 190,76	578,67	19,82	TWII	
6 Holzfachwerkrahmen 1Stck			43.059,00	- 19.466,00	23.593,00	1.523,50	TWI	
Bauteilkomponenten / m2			Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]		
W_TW II			914,00	- 266,52	647,48	25,74		
W_A			505,02	- 529,88	- 24,86	18,20		
W_C			429,84	- 215,65	214,19	16,89		
Bauteilkomponenten / 62,8 m2								
W_TW II			57.399,20	- 16.737,46	40.661,74	1.616,47		
W_A			31.715,26	- 33.276,46	- 1.561,21	1.142,96		
W_C			26.993,95	- 13.542,82	13.451,13	1.060,69		

Abb. 8.4: Tabellarische Erfassung und Bilanzierungen der Bauteilschichten des Wandaufbaus, Fallstudie A (Holzbau)

Dachaufbau:

Das Dach wurde als Kaltdach konzipiert mit einer Luftschicht zwischen Dämm- und Dichtebene. Als Schutzschicht ist eine Stehfalzdeckung aus Zinkblech mit einer zusätzlichen Dachbahn vorgesehen, aufgebracht auf OSB-Platten.

Für die Dämmschicht der Dachebene ist ebenfalls eine Holfaserdämmplatte vorgesehen. Entstehende Feuchte kann über den Luftraum abgegeben werden. Als Deckenverkleidung kommt analog zur Innenwand ebenfalls ein Multiplex-Plattenmaterial zum Einsatz.

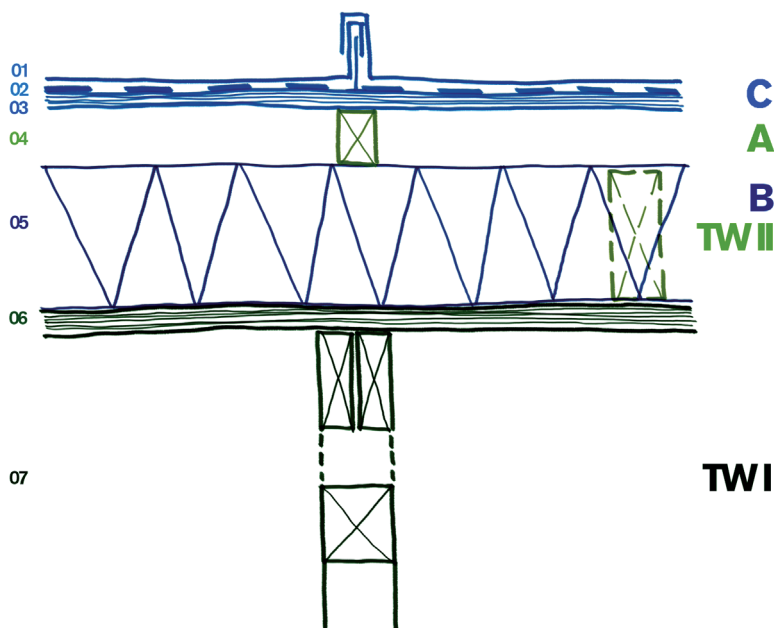


Abb. 8.5: Skizzenhafte Darstellung des Dachaufbaus, Fallstudie A (Holzbau)

Holzfachwerk							Wand	A1
Schicht	d in [mm]	%	Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]	Bauteilkomponente	
1 Schnittholz Lärche (12% Feuchte/10,7% H2O) - Verschalung	20,00	100,00	340,00	- 168,91	171,09	13,22	C	
2 Schnittholz Fichte (12% Feuchte/10,7% H2O)	60,00	10,00	70,74	- 36,95	33,79	2,89	C	
3 Schnittholz Fichte (12% Feuchte/10,7% H2O)	18,00	9,00	19,10	- 9,79	9,31	0,78	C	
Holfaserdämmplatte Kronotherm flex - Kronoply	18,00	91,00	31,09	- 17,69	13,40	0,73	A	
4 Schnittholz Kiefer (12% Feuchte/10,7% H2O)	120,00	9,00	144,57	- 75,76	68,81	5,92	TWII	
Holfaserdämmplatte (Trockenverfahren) Thermowall -	120,00	91,00	473,93	- 512,19	- 38,26	17,47	A	
5 Drei-Schichtholzplatte	42,00	100,00	789,43	- 190,76	578,67	19,82	TWII	
6 Holzfachwerkrahmen 1Stck			43.059,00	- 19.466,00	23.593,00	1.523,50	TWI	
Bauteilkomponenten / m2			Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]		
W_TW II			914,00	- 266,52	647,48	25,74		
W_A			505,02	- 529,88	- 24,86	18,20		
W_C			429,84	- 215,65	214,19	16,89		
Bauteilkomponenten / 62,8 m2								
W_TW II			57.399,20	- 16.737,46	40.661,74	1.616,47		
W_A			31.715,26	- 33.276,46	- 1.561,21	1.142,96		
W_C			26.993,95	- 13.542,82	13.451,13	1.060,69		

Abb. 8.6: Tabellarische Erfassung und Bilanzierungen der Bauteilschichten des Dachaufbaus, Fallstudie A (Holzbau)

Rückbau-Szenario:

Der Verlauf der Kurve, sowie die Zusammensetzung der sie definierenden Werte werden im Kapitel Lebenszyklusszenarien beschrieben und entsprechen dem Graph in Abb.6.1. und der Tabelle in Abb.6.2..

Ausschlaggebend für die Intervalle, in denen Bauteilgruppen bei längeren Zykluslängen ersetzt werden müssen, sind die in Tabelle 8.1. unter Lebensdauer mit En gekennzeichneten Bauteilgruppen, wobei n die angenommene Lebensdauer des Bauteils in Jahren darstellt.

Bei Fallbeispiel A, der Holzbauhalle wird von einer Abstufung in n=100, 75 und 50 Jahre ausgegangen. Das primäre Tragwerk wird dabei mit 100 Jahren angesetzt. Der Wandaufbau wird mit 50 Jahren und das sich schneller verschleissende Dach mit 25 Jahren eingeschätzt.

Die Kurven mit den entsprechenden Lebenszyklusverläufen bei Zyklusintervallen von 25, 50 und 100 Jahren sind in den Abb. 8.7, 8.9 und 8.10 zu sehen.

Fallbeispiel A – Holzfachwerkrahmen – Rückbau-Szenario					
[N/A]	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	5.073,62
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	–	1000 MJ/NGFa
B	Bn	Gesamter Aufwand für minimale Instandhaltung in tn	eigene Annahme	4% PgesH	202,94
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	8,12
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25 a	
C	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	60% A4-5	600 MJ/NGFa
	C3	Entsorgung (Baustoffe)	eLCA	PgesE	-2364,55
	D				
	E50	Ersatz nach 50 Jahren	eLCA	PgesH(E50)	1.373,20
	E75	Ersatz nach 75 Jahren	eLCA	PgesH(E75)	921,96
	E100	Ersatz nach 100 Jahren	eLCA	PgesH(E100)	413,91
Q	tn=25	$(A1-3+A4-5+Pxtn+C1-2+[C3D])/tn$			180,48
	tn=50	$(A1-3+A4-5+Pxtn+C1-2+[C3D])/tn$			94,30
	tn=75	$(A1-3+A4-5+Pxtn+C1-2+[C3D]+E50)/tn$			83,88
	tn=100	$(A1-3+A4-5+Pxtn+C1-2+[C3D]+E50+E75)/tn$			74,16
	tn=125	$(A1-3+A4-5+Pxtn+C1-2+[C3D]+E50x2+E75+E100)/tn$			75,25
	tn=150	$(A1-3+A4-5+Pxtn+C1-2+[C3D]+E50x2+E75+E100)/tn$			64,06
	tn=175	$(A1-3+A4-5+Pxtn+C1-2+[C3D]+E50x3+E75x2+E100)/tn$			69,18

Abb. 8.8: Tabellarische Erfassung der Input- und Outputströme, samt Quellenangabe der Daten, sowie der sich ergebenden Q-Werte.

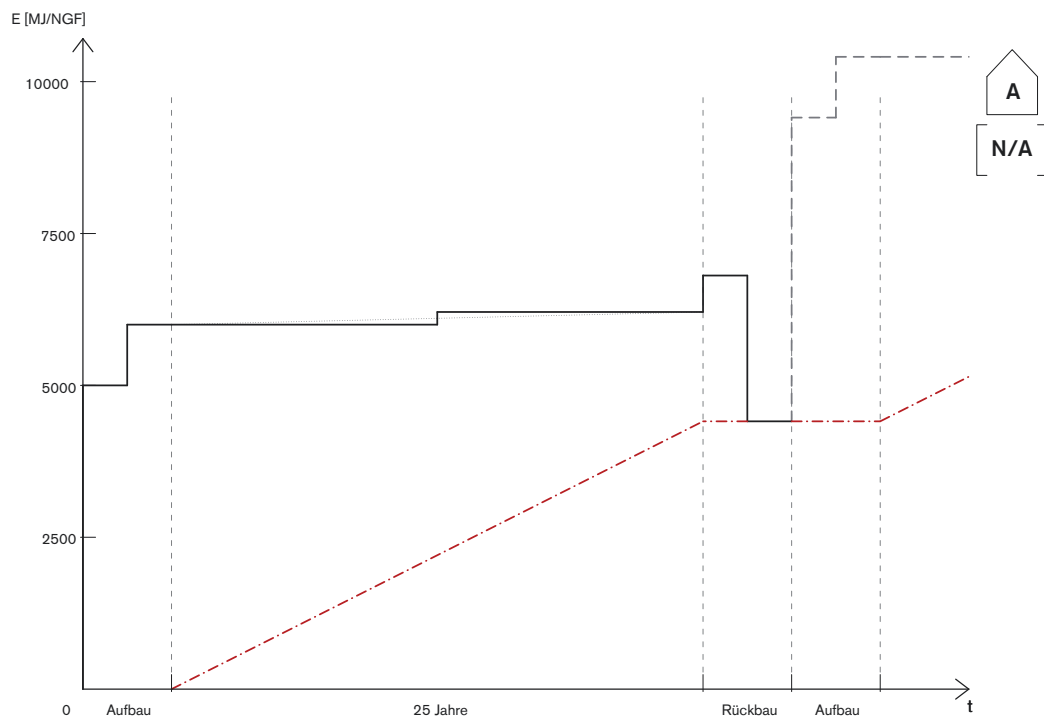


Abb. 8.7: Lebenszyklusverlauf der Fallstudie A (Holzbau), Rückbau-Szenario, $t_n=25$ Jahre

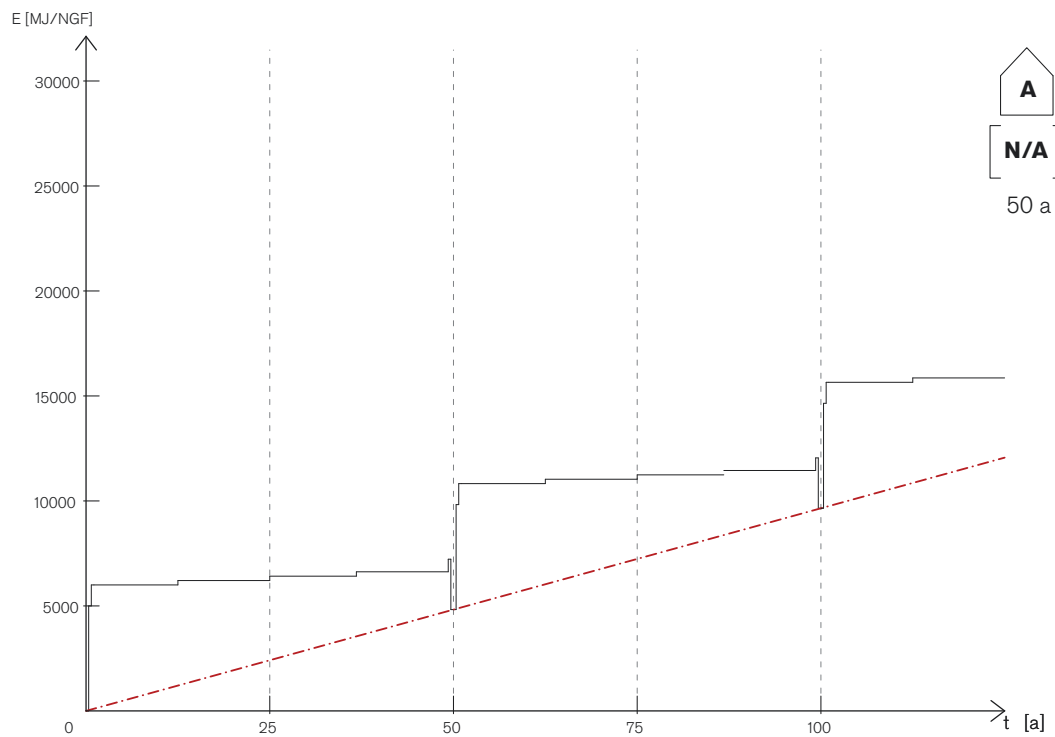


Abb. 8.9: 50-Jahre Zyklus, Fallstudie A (Holzbau), Rückbau-Szenario

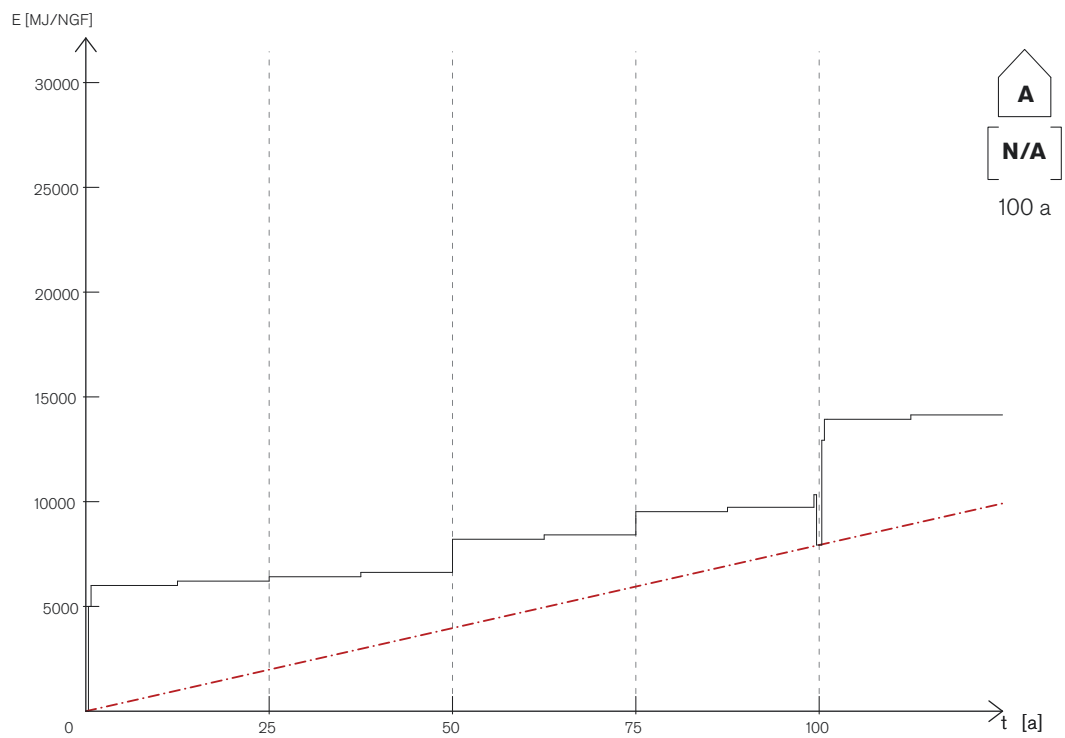


Abb. 8.10: 100-Jahre Zyklus, Fallstudie A (Holzbau), Rückbau-Szenario

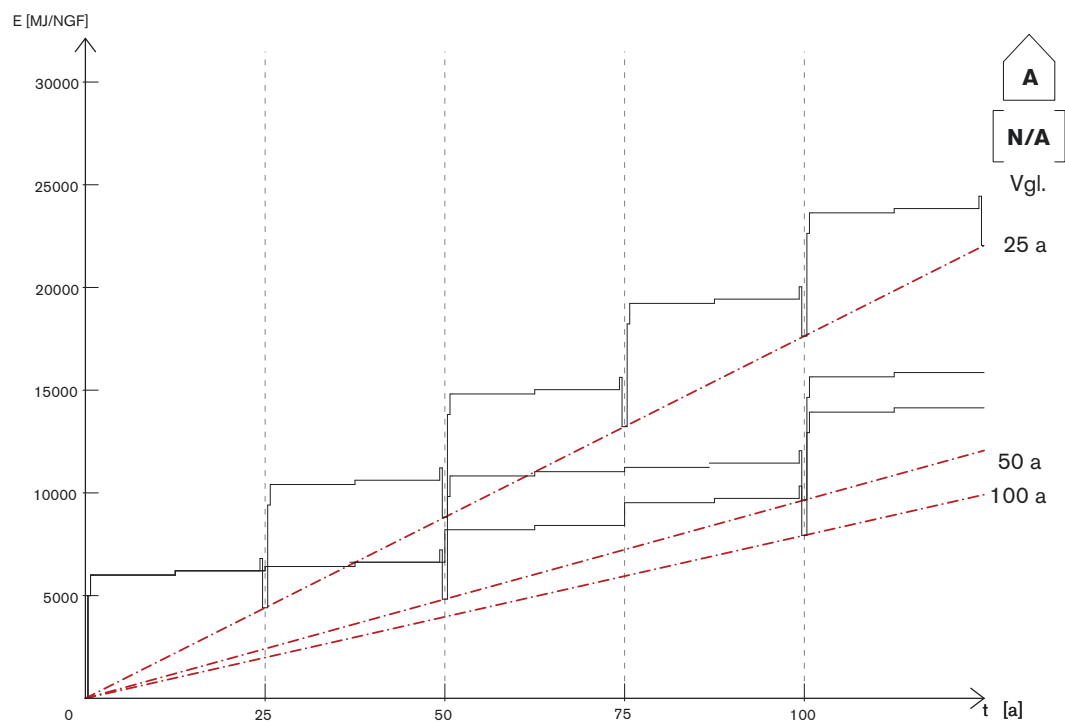


Abb. 8.11: Vergleich des 25-Jahre, 50-Jahre und 100-Jahre Zyklus, Fallstudie A (Holzbau), Rückbau-Szenario

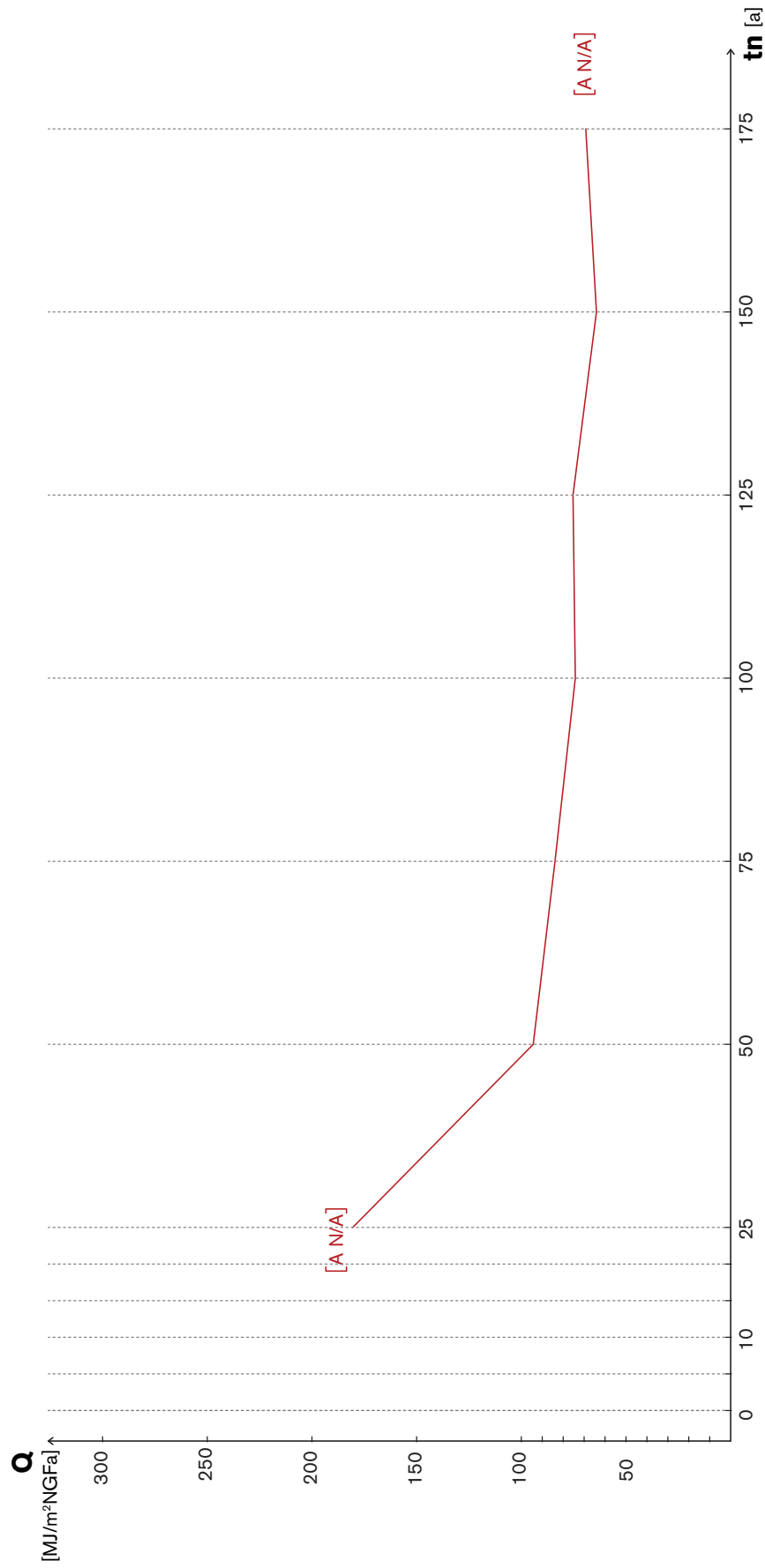


Abb. 8.12: Q-Werte im Rückbau-Szenarios, Fallstudie A (Holzbau)

Recycling-Szenario:

Der Verlauf der Kurve, sowie die Zusammensetzung der sie definierenden Werte werden im Kapitel Lebenszyklusszenarien beschrieben und entsprechen dem Graph in Abb.6.3. und der Tabelle in Abb.6.4..

Für Fallstudie gilt ebenfalls, dass ihre Bauteilgruppen zu einem Großteil wiederverwendet werden können. Gängige Holzverbindungen können weitestgehend zerstörungsfrei gelöst werden, so dass für alle Bauteilgruppen ein Rückbau-Faktor A angesetzt werden konnte. Allein die Dämmschicht aus Holzfaserplatten und die Stehfalzdeckung der Dachhaut sind als nicht wiederverwendbar eingestuft worden.

Bei längeren Lebenszyklen müssen, wie im Rückbau-Szenario, zu ersetzende Bauteilgruppen berücksichtigt und im Verlauf der Kurve abgebildet werden.

Die Kurven mit den entsprechenden Lebenszyklusverläufen bei Zyklusintervallen von 25, 50 und 100 Jahren sind in den Abb. 8.13, 8.15 und 8.16 zu sehen.

Fallbeispiel A – Holzfachwerkrahmen – Recycling-Szenario					
[R] E	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	5.073,62
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	–	1000 MJ/NGFa
	RA(Rn)	recyceltes Material der Bauteilgruppen Rn	eLCA	PgesH(RA)	4011,57
	AR	nicht recyceltes Material	eLCA	PgesH(A1-3)- PgesH(RA)	1062,05
B	Bn	Gesamter Aufwand für minimale Instandhaltung in tn	eigene Annahme	4% PgesH	202,94
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	8,12
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25 a	25/50/75/100/125/150
C	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	60% A4-5	600 MJ/NGFa
	C3	Instandsetzung von RA – dF-Werte siehe Tabelle ...	eigene Annahme	RAxdF(Holz)+30%RA	1203,47
	D	Entsorgung von AR	eLCA	PgesE(AR)	-505,30
	E50	Ersatz nach 50 Jahren	eLCA	PgesH(E50)	1373,20
	E75	Ersatz nach 75 Jahren	eLCA	PgesH(E75)	921,96
	E100	Ersatz nach 100 Jahren	eLCA	PgesH(E100)	413,91
Q	tn=25	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D)/tn			142,53
	tn=50	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D)/tn			75,32
	tn=75	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D+E50)/tn			71,23
	tn=100	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D+E50+E75)/tn			64,67
	tn=125	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D+E50x2+E75+E100)/tn			67,66
	tn=150	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D+E50x2+E75+E100)/tn			57,73
	tn=175	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D+E50x3+E75x2+E100)/tn			63,76

Abb. 8.14: Tabellarische Erfassung der Input- und Outputströme, samt Quellenangabe der Daten, sowie der sich ergebenden Q-Werte.

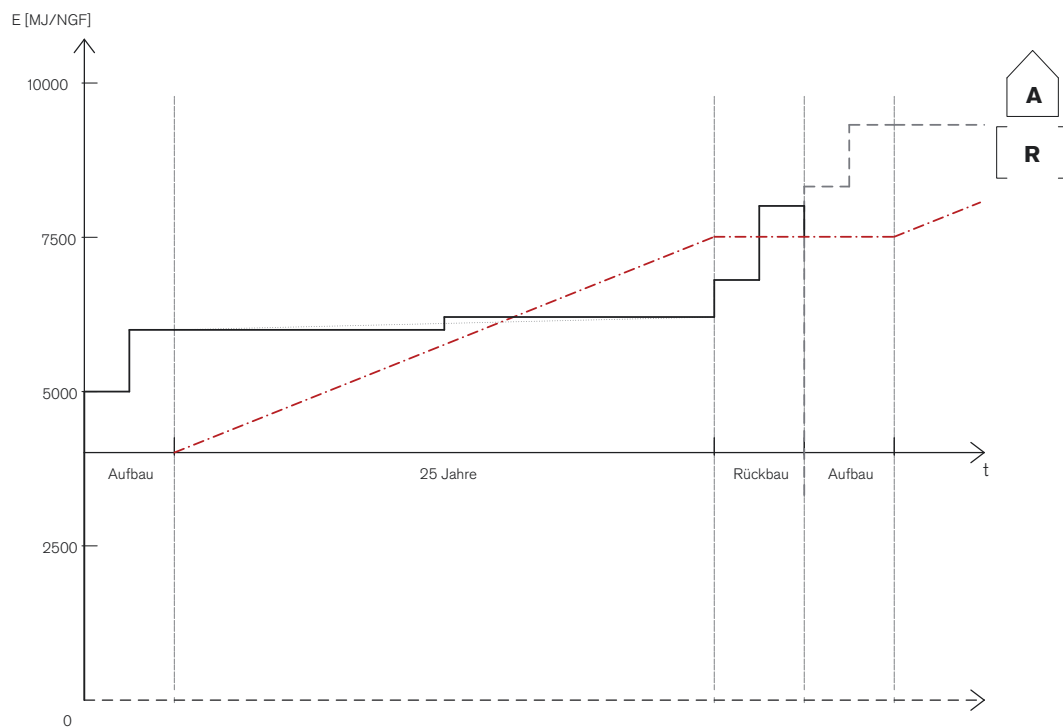
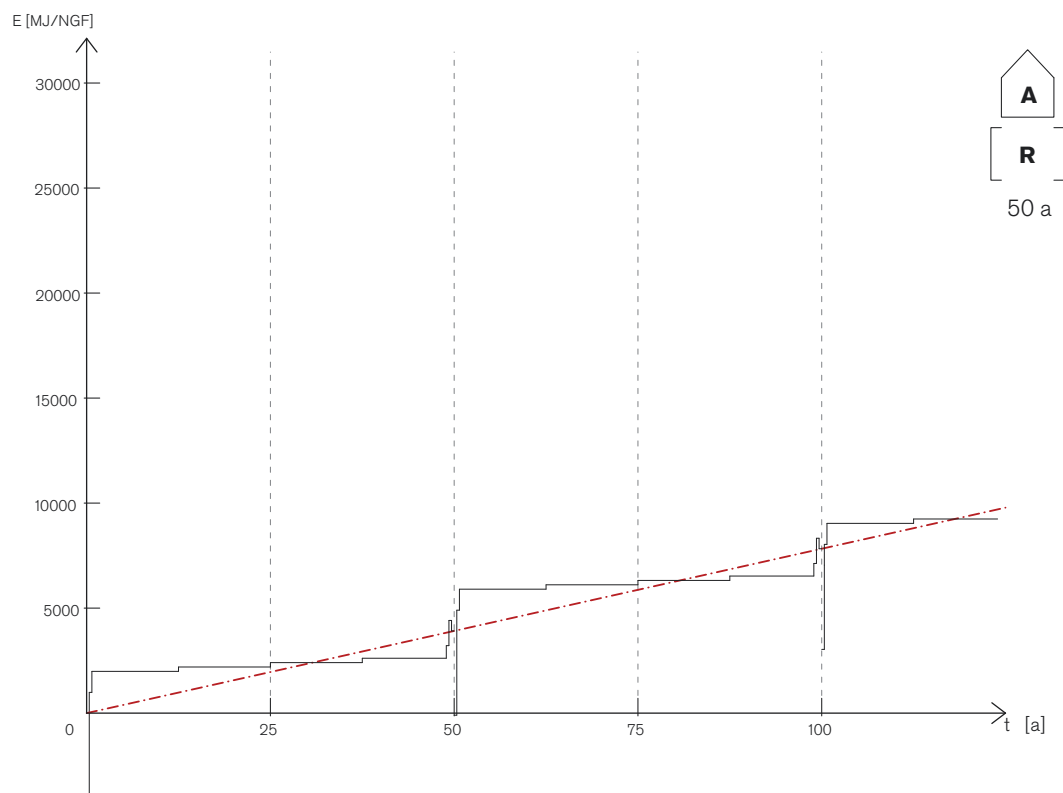
Abb. 8.13: Lebenszyklusverlauf der Fallstudie A (Holzbau), Recycling-Szenario, $t_n=25$ Jahre

Abb. 8.15: 50-Jahre Zyklus, Fallstudie A (Holzbau), Recycling-Szenario

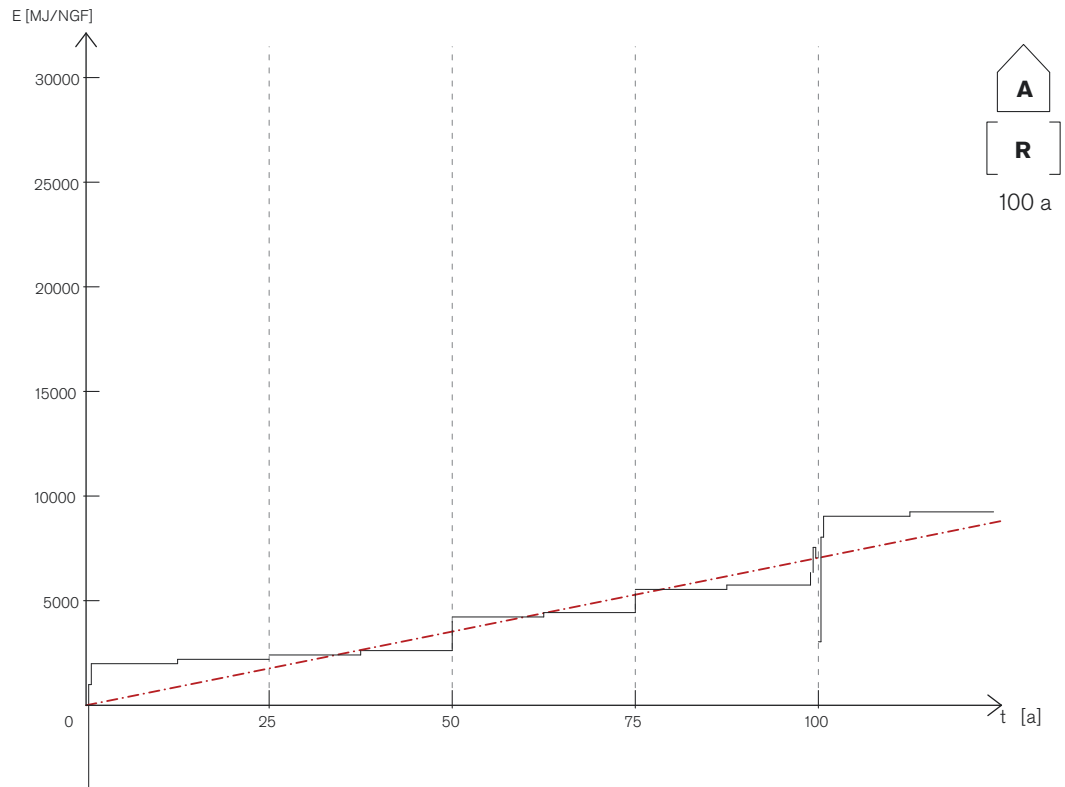


Abb. 8.16: 100-Jahre Zyklus, Fallstudie A (Holzbau), Recycling-Szenario

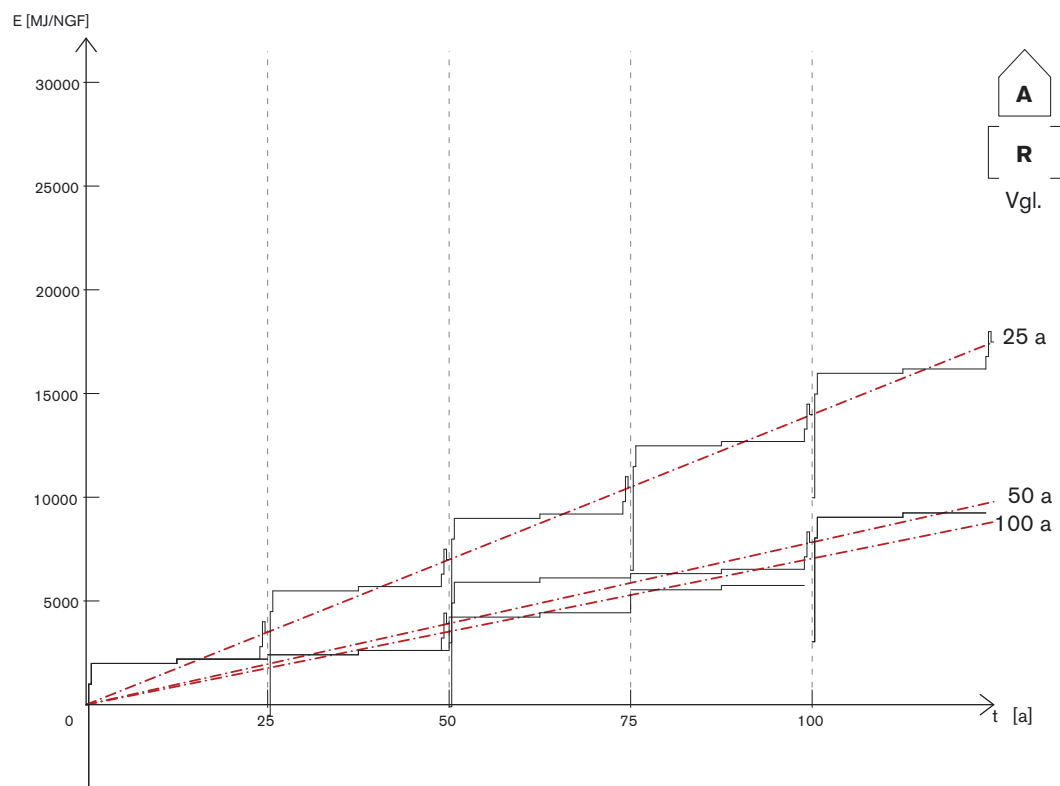


Abb. 8.17: Vergleich des 25-Jahre, 50-Jahre und 100-Jahre Zyklus, Fallstudie A (Holzbau), Recycling-Szenario

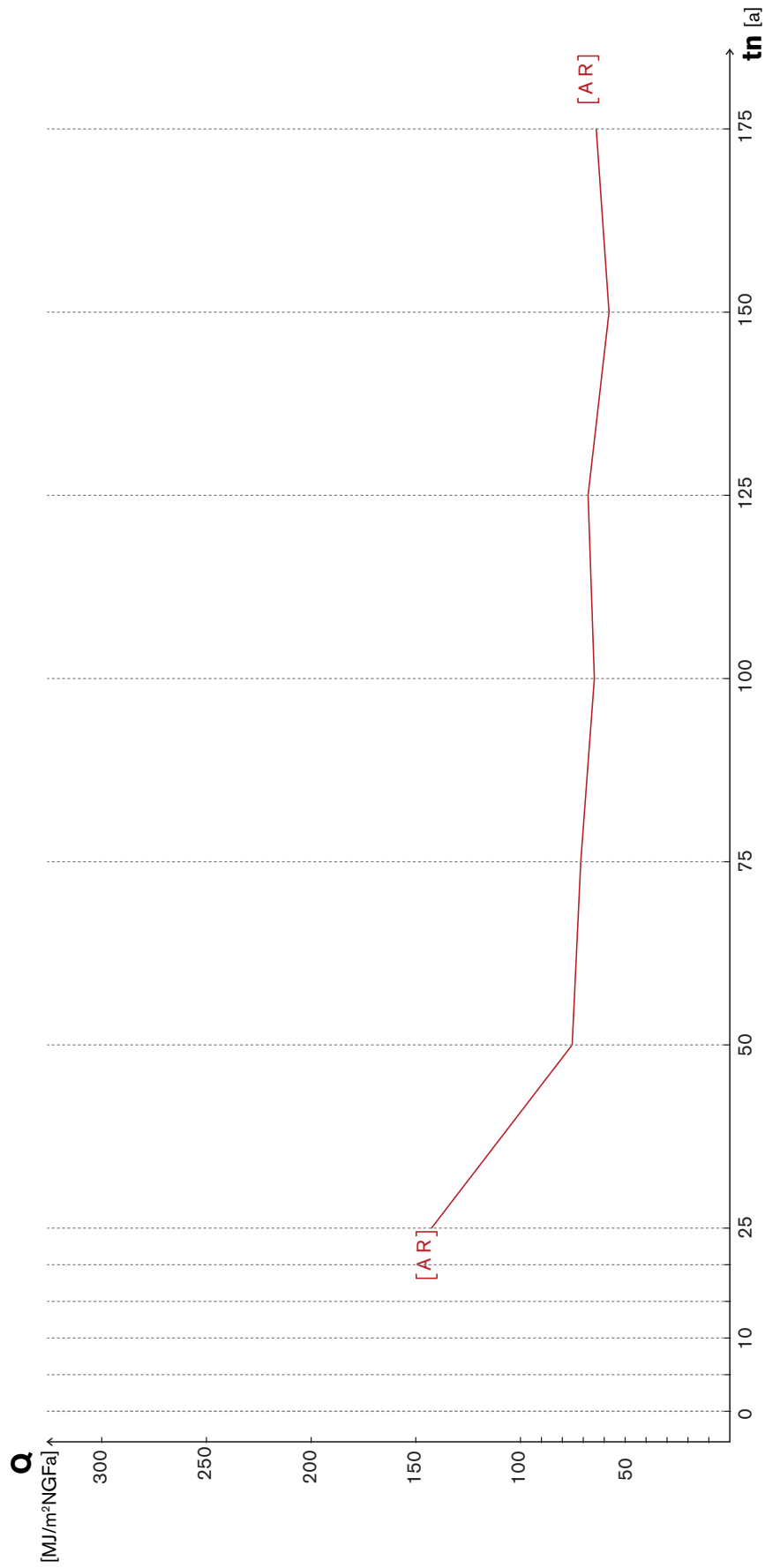


Abb. 8.18: Q-Werte im Recycling-Szenario, Fallstudie A (Holzbau)

Pflege-Szenario

Der Verlauf der Kurve, sowie die Zusammensetzung der sie definierenden Werte werden im Kapitel Lebenszyklusszenarien beschrieben und entsprechen dem Graph in Abb.6.7. und der Tabelle in Abb.6.8..

Im Gegensatz zum Rückbau-Szenario geht das Pflege-Szenario von einer kontinuierlichen Pflege des Bauwerks mit dem Ziel einer dauerhaften Nutzung aus. Die Kurve bildet daher keine Zyklen ab, sondern wird kontinuierlich fortgeschrieben.

Relevant für die energetischen Kosten des Bauwerks sind ein deutlich höherer Pflegeaufwand während den Nutzungsphasen und kürzere Instandsetzungszyklen, zu denen entsprechende Bauteilgruppen teilsaniert werden (30% der Herstellungsenergie).

Bei Fallstudie A wird in drei Instandsetzungsintervalle unterschieden: IP75, IP50 und IP25. Für das Tragwerk wird ein Zyklus von 75 Jahren angesetzt, für die Fassade ein Zyklus von 50 Jahren und für das Dach ein Zyklus von 25 Jahren.

Die Kurve mit dem entsprechenden Lebenszyklusverlauf und unterschiedlichen $Q=E/t$ Werten in einem Zeitfenster von 25-100 Jahren ist in Abb. 8.21. zu sehen.

Fallbeispiel A – Holzfachwerkrahmen – Pflege-Szenario						
[P]	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert	
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	5.073,62	
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	–	1000 MJ/NGFa	
	Bn	Gesamter Aufwand für Instandhaltung in tn	eigene Annahme	10% PgesH	507,36	
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	20,29	
B	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25-125		
	IP25	Instandsetzung alle 25 Jahre	eLCA	30% PgesH(IP25)	411,96	
	IP50	Instandsetzung alle 50 Jahre	eLCA	50%PgesH(IP50)	460,98	
	IP75	Instandsetzung alle 75 Jahre	eLCA	50%PgesH(IP75)	206,96	
	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	60% A4-5	600 MJ/NGFa	incl. C+D (Abriss und Entsorgung)
C	C3	Entsorgung (Baustoffe)	eLCA	PgesE	-2364,55	-2364,55
	D					
Q	tn=25	(A1-3+A4-5+Pxtn)/tn			263,24	192,66
	tn=50	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25)/tn			150,01	114,72
	tn=75	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x2+IP50)/tn			118,41	94,88
	tn=100	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x3+IP50+IP75)/tn			100,07	82,42
	tn=125	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x4+IP50x2+IP75)/tn			91,10	76,98
	tn=150	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x5+IP50x2+IP75)/tn			82,04	70,28
	tn=175	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x6+IP50x3+IP75)/tn			79,39	69,31

Abb. 8.20: Tabellarische Erfassung der Input- und Outputströme, samt Quellenangabe der Daten, sowie der sich ergebenden Q-Werte.

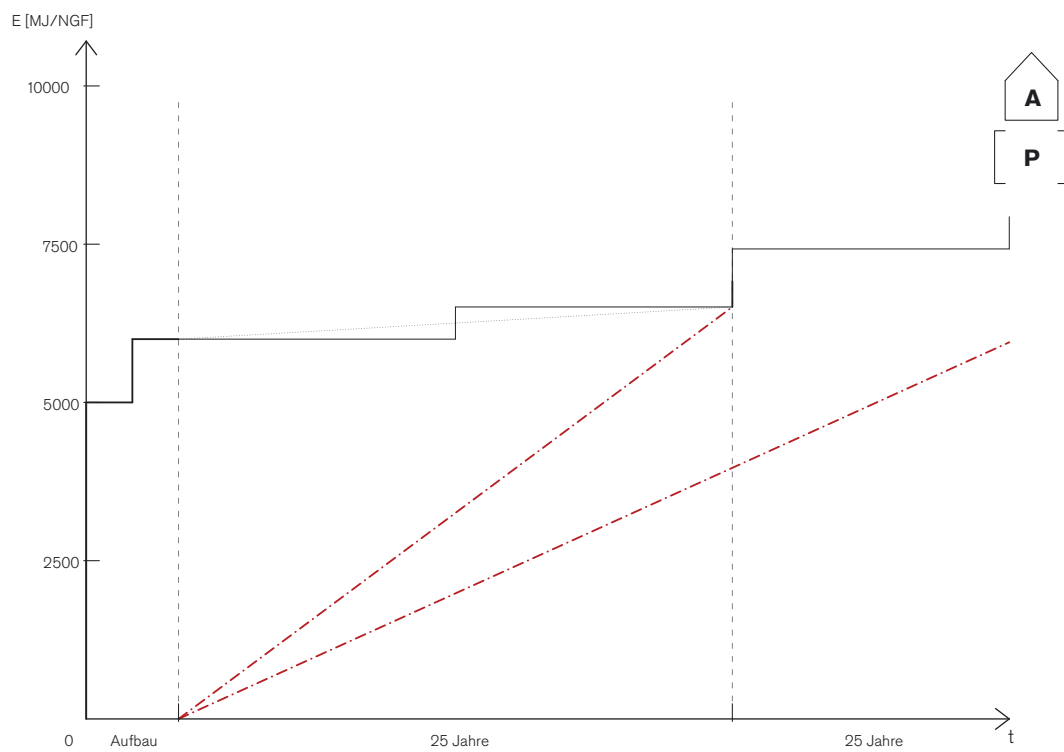
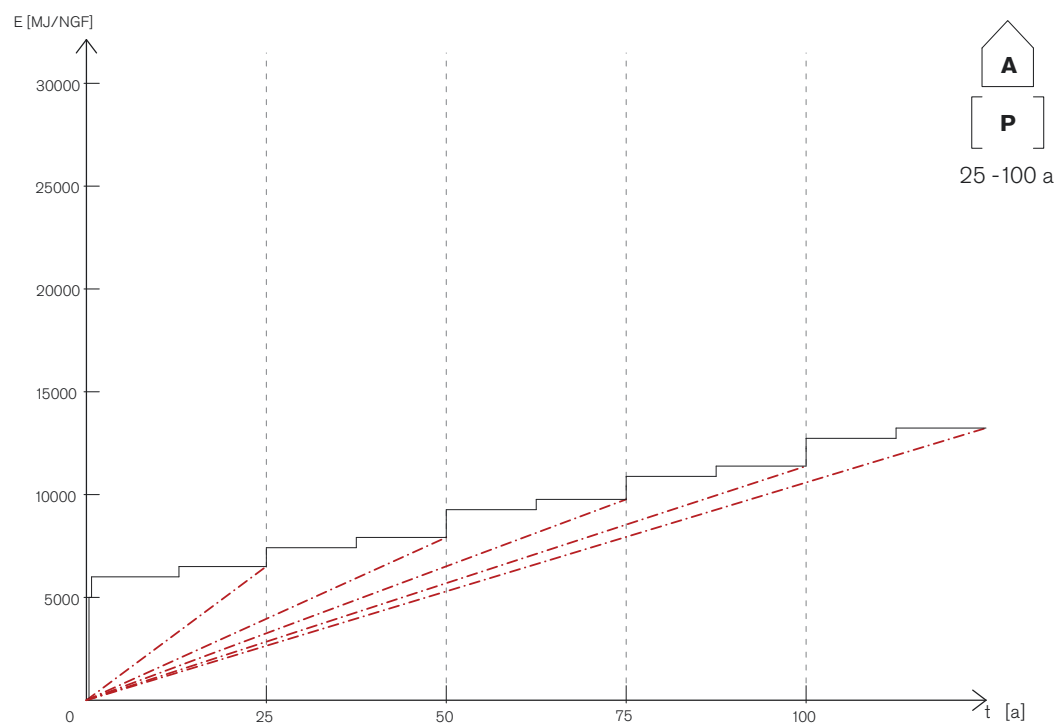
Abb. 8.19: Lebenszyklusverlauf der Fallstudie A (Holzbau), Pflege-Szenario, $t_n=25$ Jahre

Abb. 8.21: Standzeit von 25 -100 Jahren, Fallstudie A (Holzbau), Pflege-Szenario

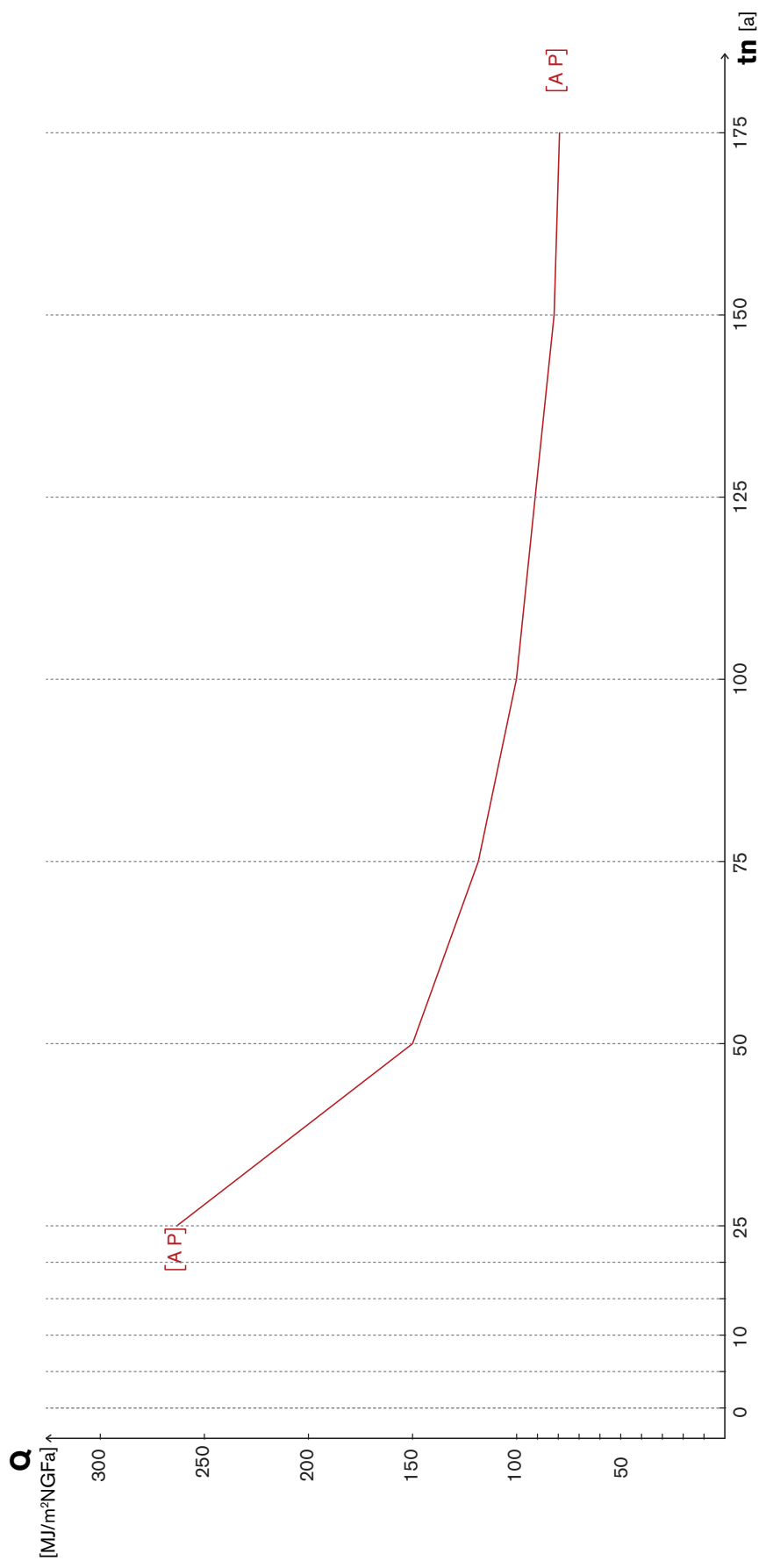


Abb. 8.22: Q-Werte im Pflege-Szenario, Fallstudie A (Holzbau)

Fallbeispiel B – Stahlbau

Alternative B in Stahlbauweise:

Das Hallentragwerk der Fallstudie B ist als konventioneller Stahlbau konzipiert. Dies entspricht der Bauweise, welche im Industriebau am häufigsten zur Anwendung kommt.

Fallbeispiel B – Stahlbau

Bauteilkomponenten m2/NGF	%	Pges H [MJ]		Pges E [MJ]		Summe [kg]		Recycling- Gruppen	Rück- baufak- tor(RF)	Ersatz- zeiträume		Instandsetzungs- zeiträume	
TW I	33,64	1.418,12		-358,77		46,97		RI	C	E100	1059,35	IP75	529,68
W_TW II	4,99	210,35	210	-105,20	-110	7,26	7,00	RI	C	E100	105,15	IP75	52,58
W_A	10,73	452,24	450	-261,40	-260	13,55	14,00	E		E50	190,83	IP50	95,42
W_B	2,60	109,67	110	-27,74	-30	3,62	4,00	RII	A	E75	81,93	IP50	49,16
W_C	3,62	152,48	150	-53,10	-50	5,01	5,00	RII	A	E75	99,38	IP50	49,69
D_TW II	10,07	424,59	420	-165,87	-170	13,93	14,00	RI	C	E100	258,72	IP75	129,36
D_A	16,06	677,15	680	-259,86	-260	32,86	33,00	E		E50	417,29	IP25	125,19
D_B	2,74	115,62	120	-29,25	-30	3,81	4,00	RII	A	E75	86,37	IP50	43,19
D_C	15,56	655,92	660	-357,93	-360	20,24	20,00	E		E50	297,98	IP25	89,39
GESAMT	100	4.216,14	2800	-1619,13	-1270	147,26	101,00						

Abb. 9.1: Bilanzwerte von Tragwerk (TW), Wand- (W) und Dachaufbauten (D) der Fallstudie B (Stahlbau). Mit R sind diejenigen Bauteilgruppen bezeichnet deren Wiederverwendung im nächsten Zyklus möglich ist; mit IP25/50/etc diejenigen, die im Pflegeszenario nach entsprechenden Zeitintervallen teilsaniert werden müssen; mit E50/75/100 diejenigen, die in den Szenarien Rückbau und Recycling nach entsprechenden Zeitintervallen ersetzt werden müssen.

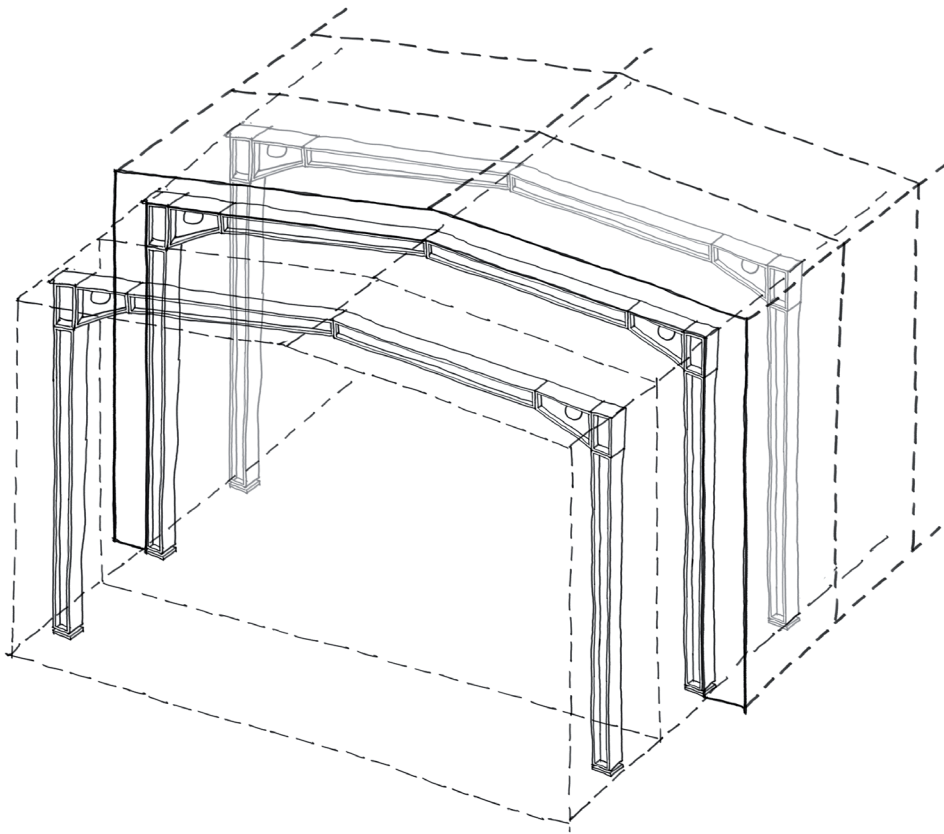


Abb. 9.2: Skizzenhafte Darstellung des Tragwerks, Fallstudie B (Stahlbau)

Tragwerk und Tragsystem:

Das Tragwerk der Halle ist, nach Engel, als 3-Gelenk-Rahmen konzipiert der durchgehend aus konfektionierten Stahlträgern (IPE400) zusammengesetzt ist. Allein in den Rahmenecken kommt ein geschweißtes Sonderelement zum Einsatz.

Die geschweißten Stahlrahmenhälften werden im Werk vorgefertigt und vor Ort miteinander gelenkig verschraubt. Die Fusspunkte sind ebenfalls gelenkig ausgeführt. Die Aussteifung in Querrichtung erfolgt über einen Verband aus diagonalen Zugseilen der direkt an den Rahmenelementen angebracht wird und vor der Wandinnenfläche verläuft. Das Achsraster der Rahmen beträgt in Analogie zum Referenzbeispiel der ETA-Fabrik 3m.

Als sekundäres Tragwerk dienen im Wandbereich Rechteckrohre (60/120) welche auf die Rahmenelemente im Abstand von $a=80\text{cm}$ aufgeschweißt sind, während im Deckenbereich ein tragendes Trapezblech zum Einsatz kommt.

Wandaufbau:

Die Witterungsschicht bildet eine hinterlüftete Fassade aus vorgehängten Metallkassetten, samt Unterkonstruktion aus Stahlblechprofilen. Die Dämmschicht ist in herkömmlicher Mineralwolle geplant, während die Innenwandverkleidung aus einem robusten und dampfdiffusionsdichten Multiplex-Plattenmaterial gefertigt sein soll.

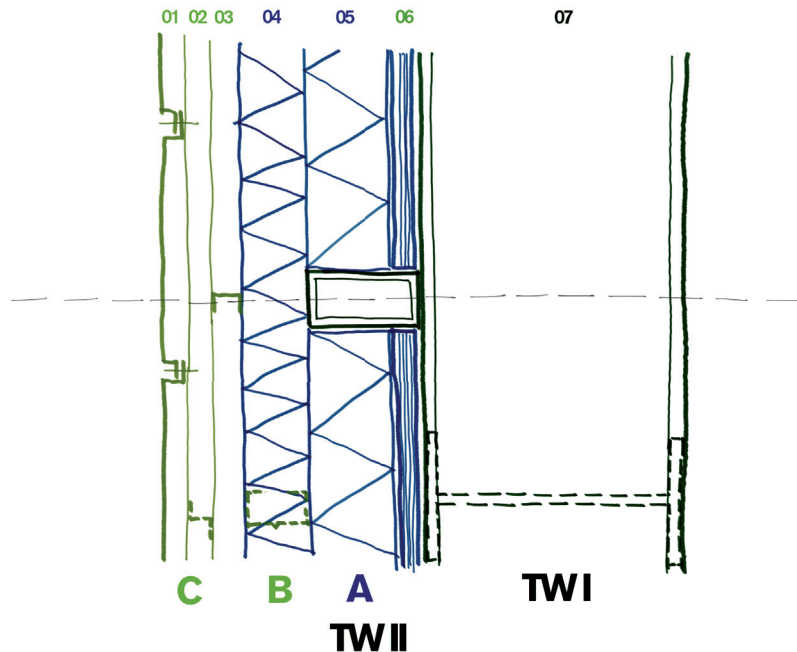


Abb. 9.3: Skizzenhafte Darstellung des Wandaufbaus, Fallstudie B (Stahlbau)

Stahlbau							Wand	B2
Schicht	d in [mm]	%	Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]	Bauteilkomponente	
1 Metallkassetten - Stahlfeinblech (0,3-3,0mm)	40,00	1,00	95,74	- 37,40	58,34	3,14	C	
2 Stahlprofil - z-Profil, a=60cm	40,00	0,30	28,44	- 7,20	21,24	0,94	C	
3 Stahlprofil-Konterlattung, a= 80 cm	20,00	0,30	14,22	- 3,60	10,62	0,47	C	
4 TI 135 U Mineralwolle ECOSE - Knauf Insulation	40,00	99,70	10,61	0,11	10,72		A	
Stahlblechl U-Profil, a=80 cm	40,00	0,30	85,32	- 21,58	63,74	2,82	B	
5 TI 135 U Mineralwolle ECOSE - Knauf Insulation	100,00	99,70	63,67	0,65	64,32		A	
6 Spanplatte Eurospan - Egger	20,00	100,00	336,19	- 238,02	98,17	12,30	A	
7 Stahlhohlprofil - Rechteckrohr 60/120, a=80cm	120,00	0,70	190,92	- 95,48	95,44	6,59	TWII	
8 Stahlrahmen_ETAHalle (2Stk)			80.833,00	- 20.450,00	60.383,00	2.677,16	TWI	
Bauteilkomponenten / m2			Pe H [MJ]	Pe E [MJ]		Summe [kg]		
W_TW II			190,92	- 95,48	95,44	6,59		
W_A			410,47	- 237,26	173,21	12,30		
W_B			85,32	- 21,58	63,74	2,82		
W_C			138,40	- 48,20	90,20	4,55		
Bauteilkomponenten / 62,8 m2								
W_TW II			11.989,78	- 5.996,14	5.993,63	413,85		
W_A			25.777,52	- 14.899,93	10.877,59	772,44		
W_B			5.358,10	- 1.355,22	4.002,87	177,10		
W_C			8.691,52	- 3.026,96	5.664,56	285,74		

Abb. 9.4: Tabellarische Erfassung und Bilanzierungen der Bauteilschichten des Wandaufbaus, Fallstudie B (Stahlbau)

Dachaufbau:

Das Dach wurde als Kaltdach konzipiert mit einer Luftschicht zwischen Dämm- und Dichtebene. Als Schutzschicht ist eine Stehfalzdeckung aus Zinkblech mit einer zusätzlichen Dachbahn vorgesehen, aufgebracht auf OSB-Platten und einer Unterkonstruktion aus Stahlblechprofilen, die mittels Silikatplatten thermisch vom Rest der Konstruktion getrennt ist.

Die Dämmschicht der Dachebene ist in Mineralwolle geplant. Entstehende Feuchte kann über den Luftraum des Kaltdachs abgegeben werden. Zum Innenraum hin ist sie mittels einer dampfdiffusionsdichten Schicht getrennt.

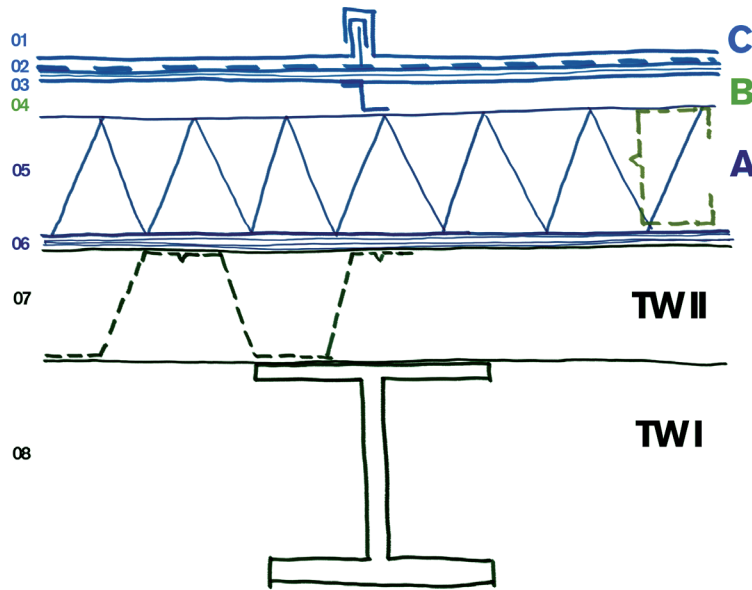


Abb. 9.5: Skizzenhafte Darstellung des Dachaufbaus, Fallstudie B (Stahlbau)

Stahlbau				Dach				B2
		d in [mm]	%	Pges H [MJ]	Pges E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]	Bauteilkomponente
1	Stahl Feinblech (0,3-3,0mm) - Stehfalzdeckung	0,50	100,00	119,66	- 46,75	72,91	3,92	C
2	Dachbahnen EPDM	1,00	100,00	106,84	- 25,15	81,69	0,95	C
3	Spanplatte Eurospan - Egger	20,00	100,00	365,07	- 250,92	114,15	13,38	C
4	Stahlprofil, Z-Profil auf Silikatplatte, a=80cm	40,00	0,20	18,96	- 4,80	14,16	0,62	B
	Stahlprofil, U-Profil, a=80cm	120,00	0,30	85,32	- 21,58	63,74	2,82	B
5	Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	120,00	99,70	274,53	3,65	278,18	17,34	A
7	OSB Eurostrand - Egger	20,00	100,00	336,19	- 238,02	98,17	12,30	A
8	Trapezblech	160,00	0,50	382,94	- 149,60	233,34	12,56	TW II
Bauteilkomponenten / m2				Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]	
	D_TW II			382,94	- 149,60	233,34	12,56	
	D_A			610,72	- 234,37	376,35	29,64	
	D_B			104,28	- 26,38	77,90	3,44	
	D_C			591,57	- 322,82	268,75	18,25	
Bauteilkomponenten / 63,2 m2								
	D_TW II			24.201,81	- 9.454,72	14.747,09	793,79	
	D_A			38.597,50	- 14.812,18	23.785,32	1.873,25	
	D_B			6.590,50	- 1.667,22	4.923,28	217,41	
	D_C			37.387,22	- 20.402,22	16.985,00	1.153,40	

Abb. 9.6: Tabellarische Erfassung und Bilanzierungen der Bauteilschichten des Dachaufbaus, Fallstudie B (Stahlbau)

Rückbau-Szenario:

Der Verlauf der Kurve, sowie die Zusammensetzung der sie definierenden Werte werden im Kapitel Lebenszyklusszenarien beschrieben und entsprechen dem Graph in Abb.6.1. und der Tabelle in Abb.6.2..

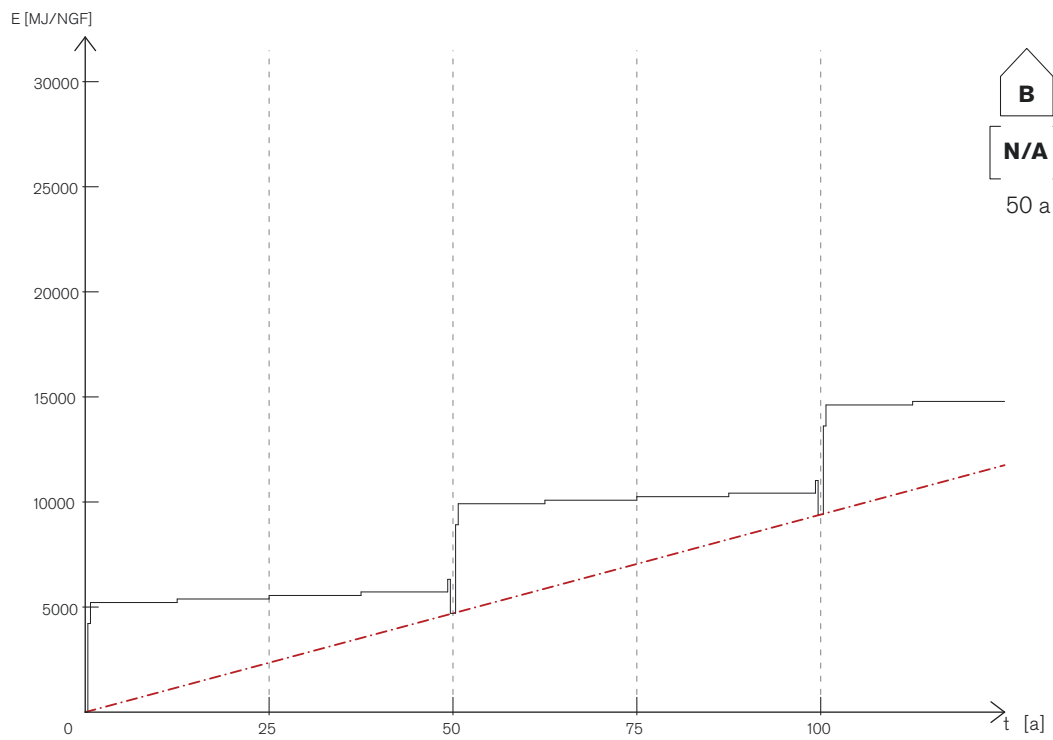
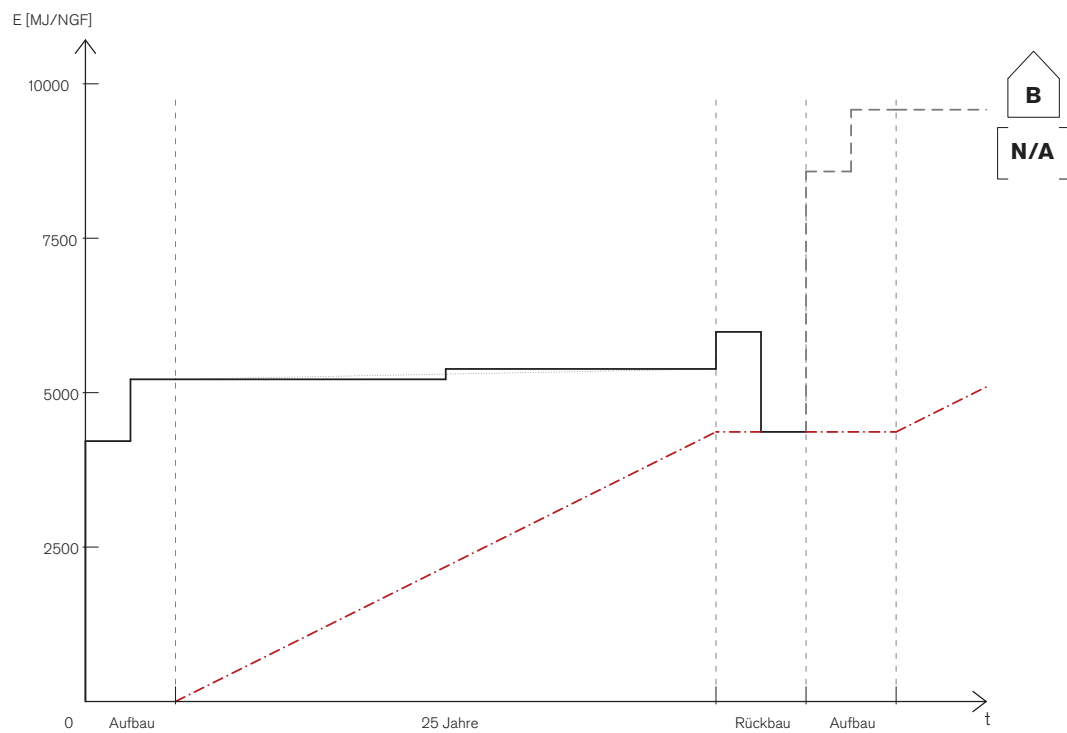
Ausschlaggebend für die Intervalle, in denen Bauteilgruppen bei längeren Zykluslängen ersetzt werden müssen, sind die in Tabelle 9.1. unter Lebensdauer mit En gekennzeichneten Bauteilgruppen, wobei n die angenommene Lebensdauer des Bauteils in Jahren darstellt.

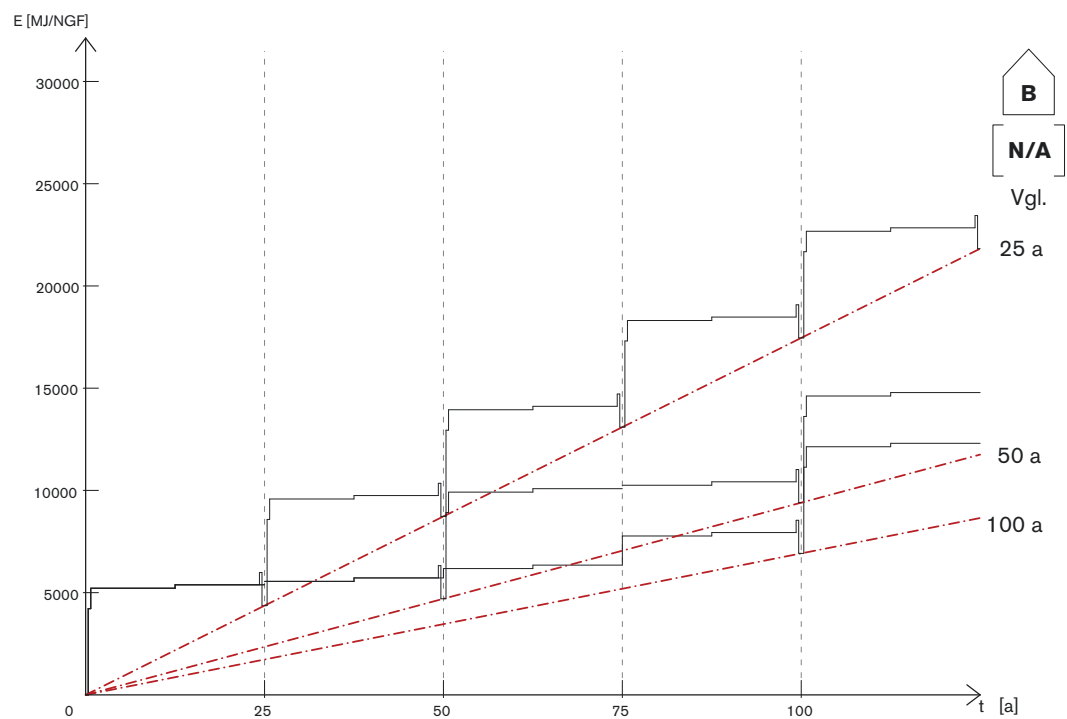
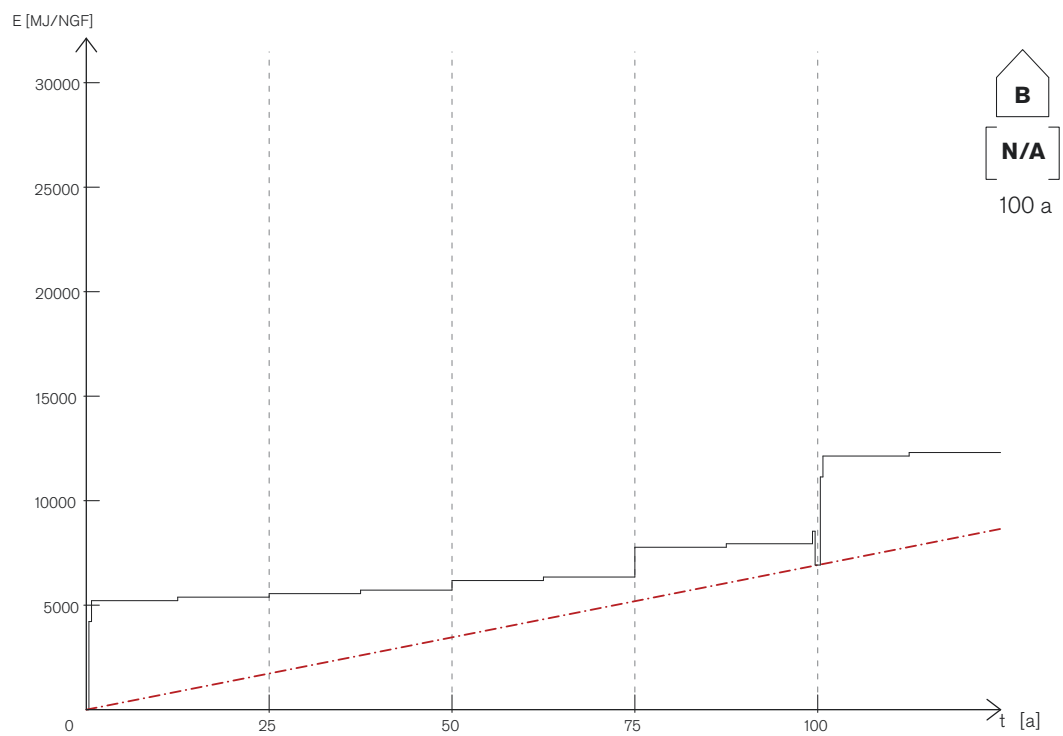
Im Falle der Stahlbau-Halle wird von einer Abstufung in n=100, 75 und 50 Jahre ausgegangen. Das primäre und sekundäre Stahltragwerk wird mit einer technischen Lebensdauer von 100 Jahren angesetzt, während die Stahlunterkonstruktion von Dach und Wandaufbau mit 75 Jahren und die Dämmschicht aus Mineralwolle mit 50 Jahren angesetzt wurden.

Die Kurven mit den entsprechenden Lebenszyklusverläufen bei Zyklusintervallen von 25, 50 und 100 Jahren sind in den Abb. 9.7, 9.9 und 9.10 zu sehen.

Fallbeispiel B – Stahlbau – Rückbau-Szenario					
[N/A]	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	4.216,14
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	–	1000 MJ/NGFa
B	Bn	Gesamter Aufwand für minimale Instandhaltung in tn	eigene Annahme	4% PgesH	168,65
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	6,75
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25 a	
C	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	60% A4-5	600 MJ/NGFa
	C3	Entsorgung (Baustoffe)	eLCA	PgesE	-1619,13
	D				
	E50	Ersatz nach 50 Jahren	eLCA	PgesH(E50)	458,51
	E75	Ersatz nach 75 Jahren	eLCA	PgesH(E75)	1423,22
	E100	Ersatz nach 100 Jahren	eLCA	PgesH(E100)	715,27
Q	tn=25	$(A1-3+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+[C3D])/t_n$			174,63
	tn=50	$(A1-3+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+[C3D])/t_n$			90,69
	tn=75	$(A1-3+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+[C3D]+E50)/t_n$			68,82
	tn=100	$(A1-3+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+[C3D]+E50+E75)/t_n$			67,53
	tn=125	$(A1-3+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+[C3D]+E50 \cdot 2+E75+E100)/t_n$			64,77
	tn=150	$(A1-3+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+[C3D]+E50 \cdot 2+E75+E100)/t_n$			55,10
	tn=175	$(A1-3+A4-5+P \cdot t_n+C1-2+[C3D]+E50 \cdot 3+E75 \cdot 2+E100+E150)/t_n$			58,94

Abb. 9.8: Tabellarische Erfassung der Input- und Outputströme, samt Quellenangabe der Daten, sowie der sich ergebenden Q-Werte.





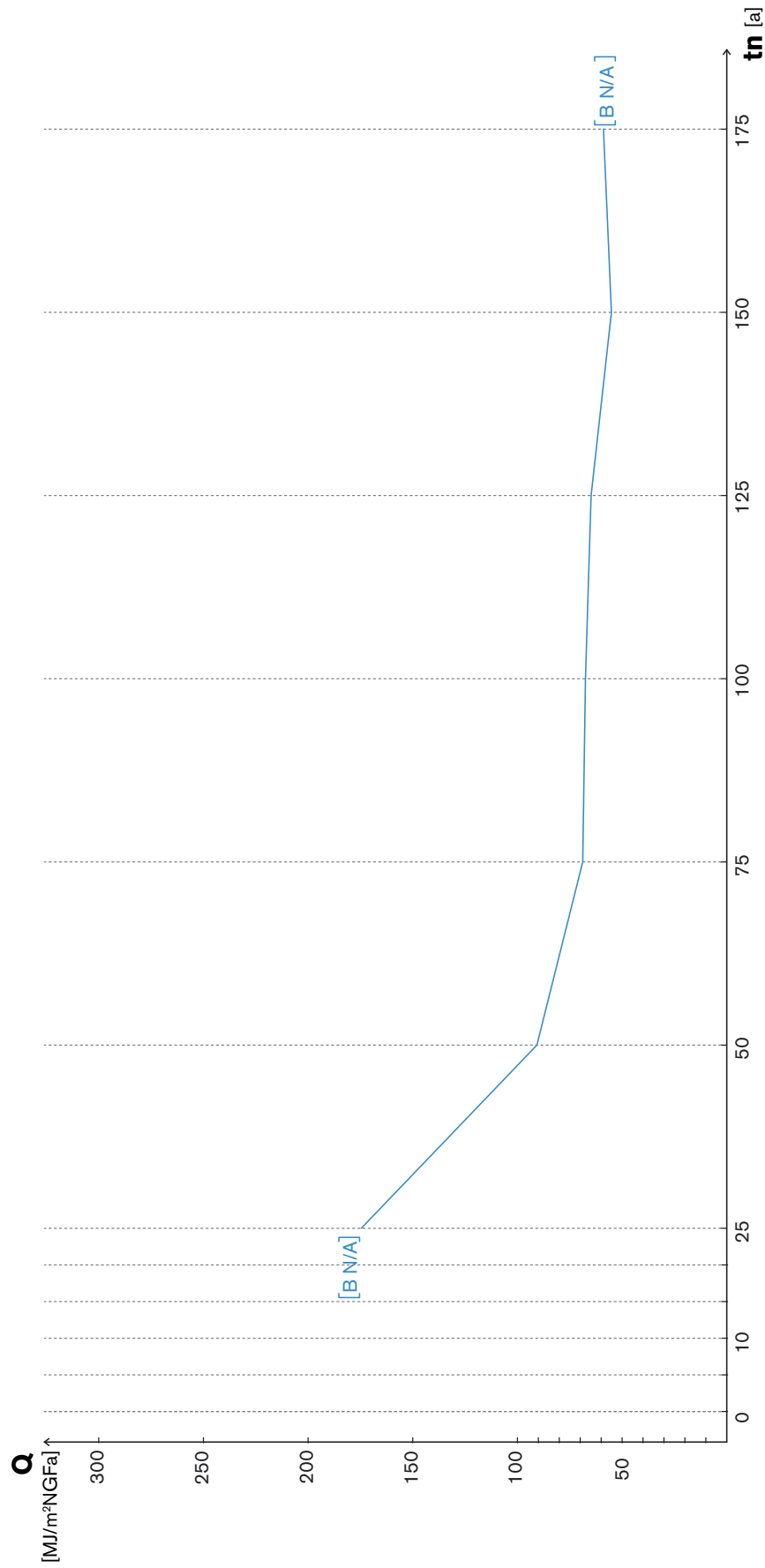


Abb. 9.12: Q-Werte im Rückbau-Szenarios, Fallstudie B (Stahlbau)

Recycling-Szenario:

Der Verlauf der Kurve, sowie die Zusammensetzung der sie definierenden Werte werden im Kapitel Lebenszyklusszenarien beschrieben und entsprechen dem Graph in Abb.6.3. und der Tabelle in Abb.6.4. .

Bis auf die Dämmschichten aus Mineralwolle und die Stehfalzdeckung des Dachs sind alle Elemente des Stahlbaus als wiederverwendbar eingestuft worden, wenn auch mit unterschiedlichem Rückbau-Faktor (RF). Die geschweißte Primärkonstruktion bedarf eines höheren Wiederherstellungsaufwands, als die Stahlteile der Unterkonstruktion, welche verschraubt geplant ist und daher zerstörungsfrei rückgebaut werden kann.

Bei längeren Lebenszyklen müssen, wie im Rückbau-Szenario, zu ersetzende Bauteilgruppen berücksichtigt und im Verlauf der Kurve abgebildet werden.

Die Kurven mit den entsprechenden Lebenszyklusverläufen bei Zyklusintervallen von 25, 50 und 100 Jahren sind in den Abb. 9.13, 9.15 und 9.16 zu sehen.

Fallbeispiel B – Stahlbau – Recycling-Szenario					
[R] E	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	4.216,14
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	–	1000 MJ/NGFa
	RA(Rn)	recyceltes Material der Bauteilgruppen Rn	eLCA	PgesH(RA)	2430,84
	AR	nicht recyceltes Material	eLCA	PgesH(A1-3)- PgesH(RA)	1785,30
B	Bn	Gesamter Aufwand für minimale Instandhaltung in tn	eigene Annahme	4% PgesH	168,65
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	6,75
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25 a	25/50/75/100/125/150
C	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	60% A4-5	600 MJ/NGFa
	C3	Instandsetzung von RA – dF-Werte siehe Tabelle ...	eigene Annahme	RA(RI)x0,2(dRFC) +RA(RII)x0,2(dRFA) +20%RA	896,78
	D	Entsorgung von AR	eLCA	PgesE(AR)	-879,20
	E50	Ersatz nach 50 Jahren	eLCA	PgesH(E50)	458,51
	E75	Ersatz nach 100 Jahren	eLCA	PgesH(E75)	1423,22
	E100	Ersatz nach 150 Jahren	eLCA	PgesH(E100)	715,27
Q	tn=25	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D)/tn			142,86
	tn=50	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D)/tn			74,80
	tn=75	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D+E50)/tn			58,23
	tn=100	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D+E50+E75)/tn			59,59
	tn=125	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D+E50x2+E75+E100)/tn			58,41
	tn=150	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D+E50x2+E75+E100)/tn			49,80
	tn=175	(AR+A4-5+Pxtn+C1-2+C3+D+E50x3+E75x2+E100)/tn			54,40

Abb. 9.14: Tabellarische Erfassung der Input- und Outputströme, samt Quellenangabe der Daten, sowie der sich ergebenden Q-Werte.

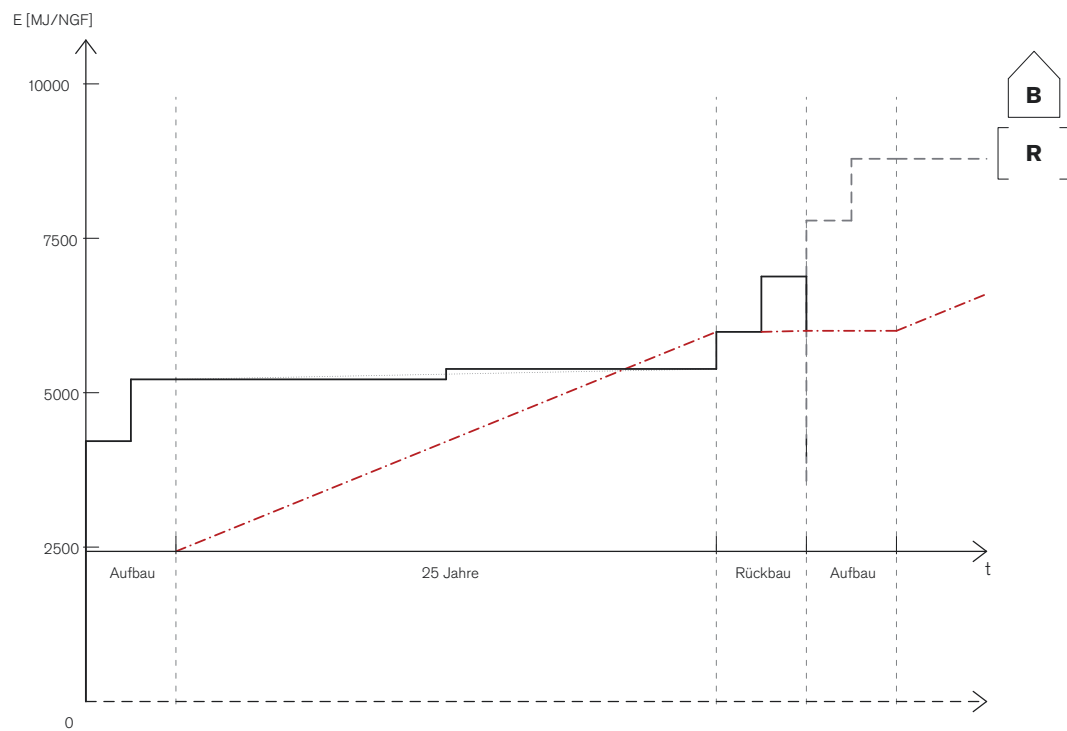
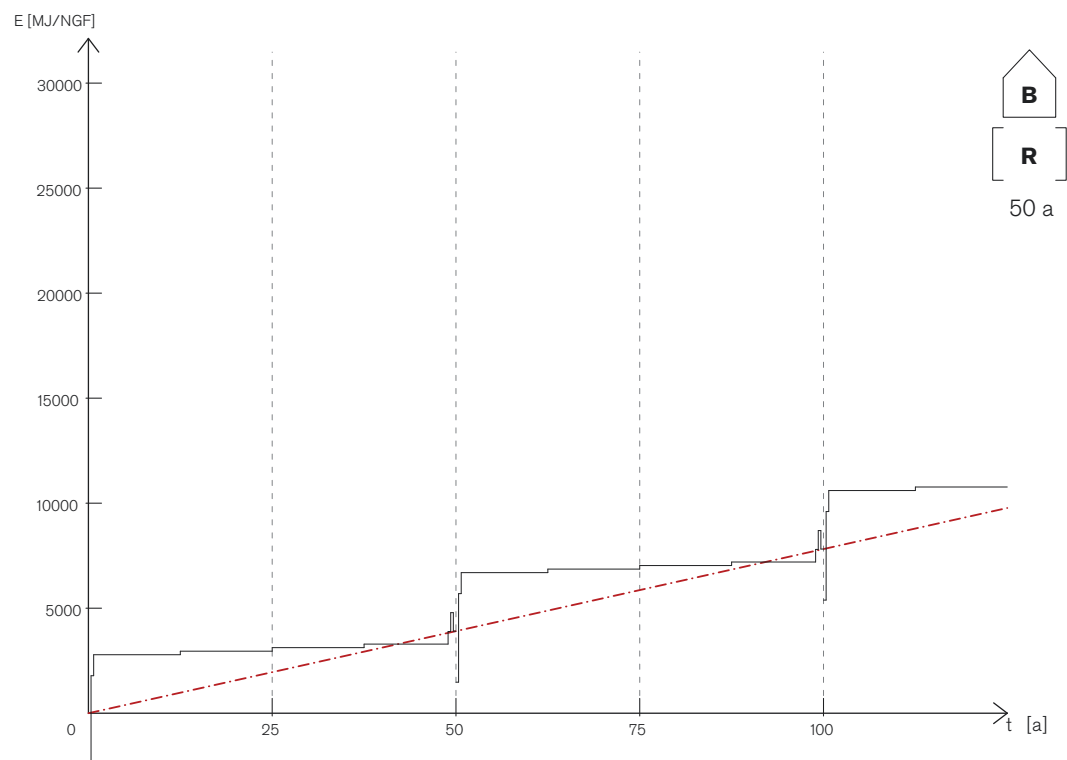
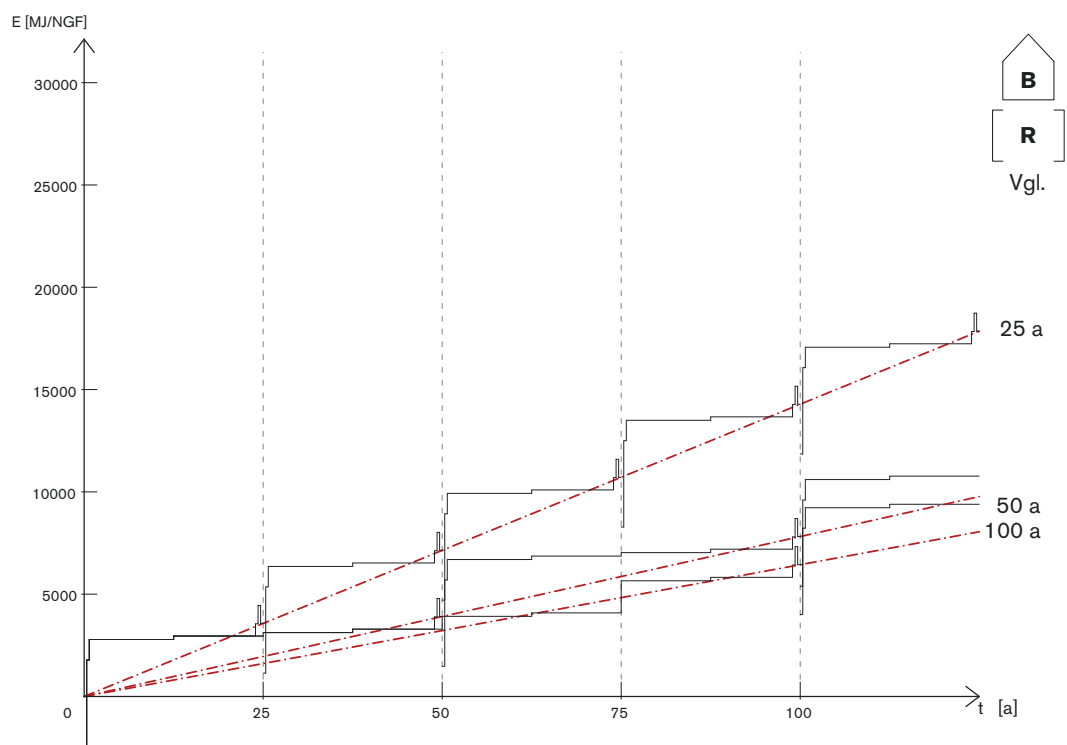
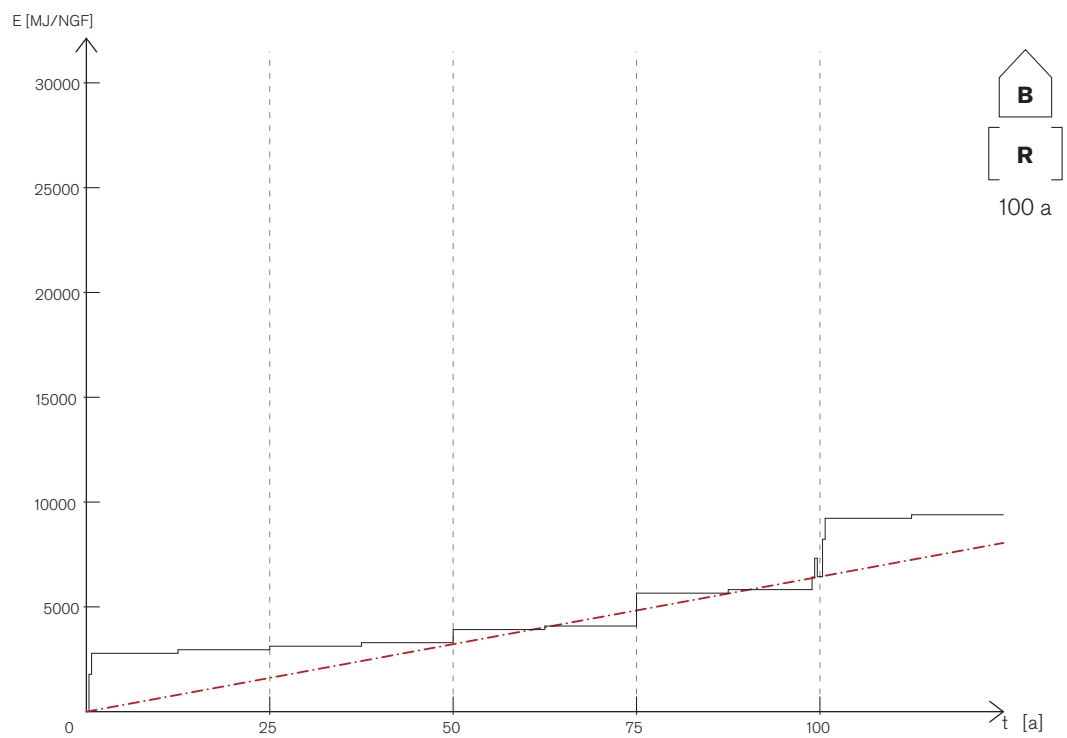
Abb. 9.13: Lebenszyklusverlauf der Fallstudie B (Stahlbau), Recycling-Szenario, $t_n=25$ Jahre

Abb. 9.15: 50-Jahre Zyklus, Fallstudie B (Stahlbau), Recycling-Szenario



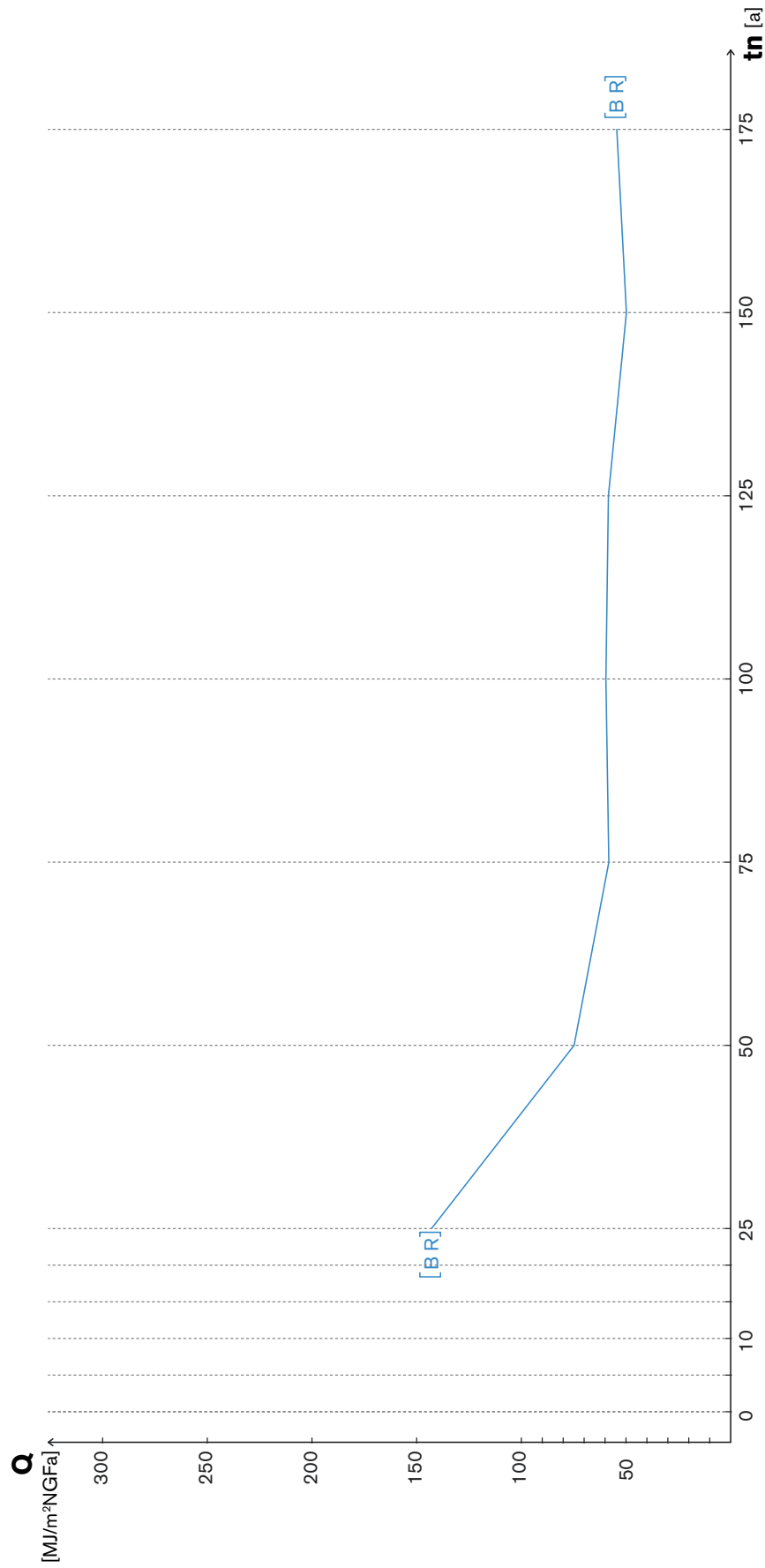


Abb. 9.18: Q-Werte im Recycling-Szenario, Fallstudie B (Stahlbau)

Pflege-Szenario

Der Verlauf der Kurve, sowie die Zusammensetzung der sie definierenden Werte werden im Kapitel Lebenszyklusszenarien beschrieben und entsprechen dem Graph in Abb.6.7. und der Tabelle in Abb.6.8..

Im Gegensatz zum Rückbau-Szenario geht das Pflege-Szenario von einer kontinuierlichen Pflege des Bauwerks mit dem Ziel einer dauerhaften Nutzung aus. Die Kurve bildet daher keine Zyklen ab, sondern wird kontinuierlich fortgeschrieben.

Relevant für die energetischen Kosten des Bauwerks sind ein deutlich höherer Pflegeaufwand während den Nutzungsphasen und kürzere Instandsetzungszyklen, zu denen entsprechende Bauteilgruppen teilsaniert werden (30% der Herstellungsenergie).

Im Falle der Stahlbauhalle wird in drei Instandsetzungsintervalle unterschieden: IP75, IP50 und IP25. Für das Tragwerk wird ein Zyklus von 75 Jahren angesetzt, für die Fassade ein Zyklus von 50 Jahren und für das Dach ein Zyklus von 25 Jahren.

Die Kurve mit dem entsprechenden Lebenszyklusverlauf und unterschiedlichen $Q=E/t$ Werten in einem Zeitfenster von 25-100 Jahren ist in Abb. 9.21. zu sehen.

Fallbeispiel B – Stahlbau – Pflege-Szenario						
[P]	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert	
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	4.216,14	
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	–	1000 MJ/NGFa	
	Bn	Gesamter Aufwand für Instandhaltung in tn	eigene Annahme	10% PgesH	421,61	
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	16,86	
B	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25-125		
	IP25	Instandsetzung alle 25 Jahre	eLCA	30% PgesH(IP25)	214,58	incl. C+D (Abriss und Entsorgung)
	IP50	Instandsetzung alle 50 Jahre	eLCA	50%PgesH(IP50)	237,45	
	IP75	Instandsetzung alle 75 Jahre	eLCA	50%PgesH(IP75)	711,61	
C	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	60% A4-5	600 MJ/NGFa	
	C3	Entsorgung (Baustoffe)	eLCA	PgesE	-1619,13	
	D					
Q	tn=25	(A1-3+A4-5+Pxtn)/tn			225,51	184,74
	tn=50	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25)/tn			125,48	105,10
	tn=75	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x2+IP50)/tn			95,30	81,71
	tn=100	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x3+IP50+IP75)/tn			84,95	74,76
	tn=125	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x4+IP50x2+IP75)/tn			74,95	66,80
	tn=150	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x5+IP50x2+IP75)/tn			66,70	59,91
	tn=175	(A1-3+A4-5+Pxtn+IP25x6+IP50x3+IP75x2)/tn			66,23	60,41

Abb. 9.20: Tabellarische Erfassung der Input- und Outputströme, samt Quellenangabe der Daten, sowie der sich ergebenden Q-Werte.

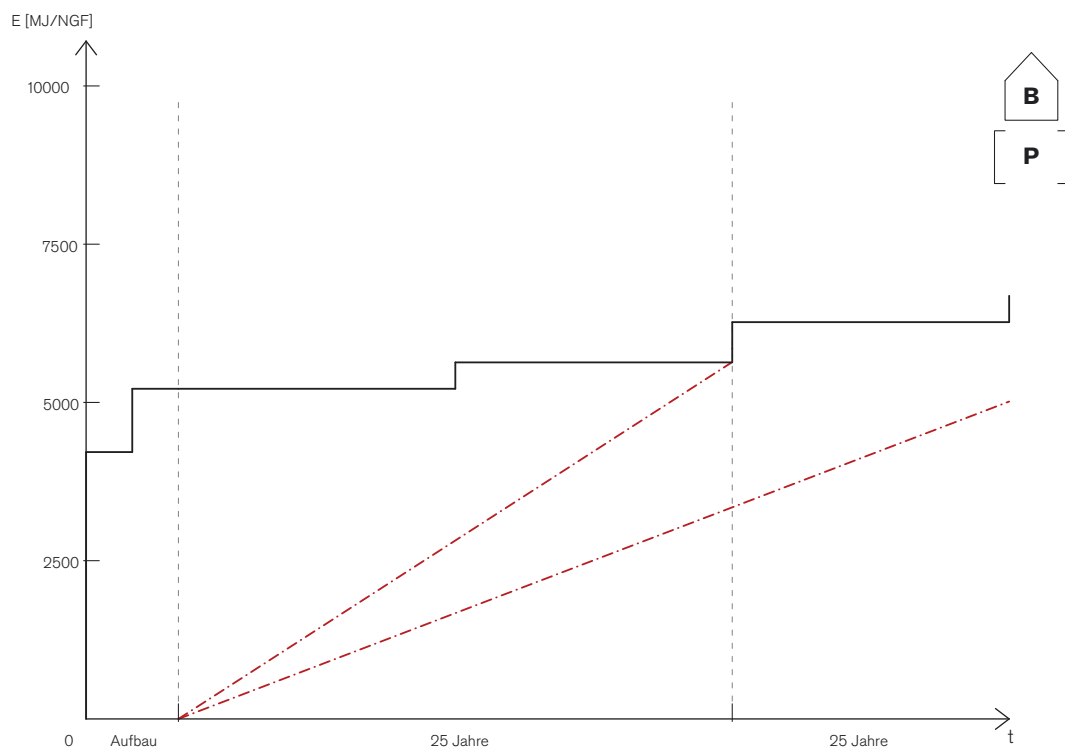
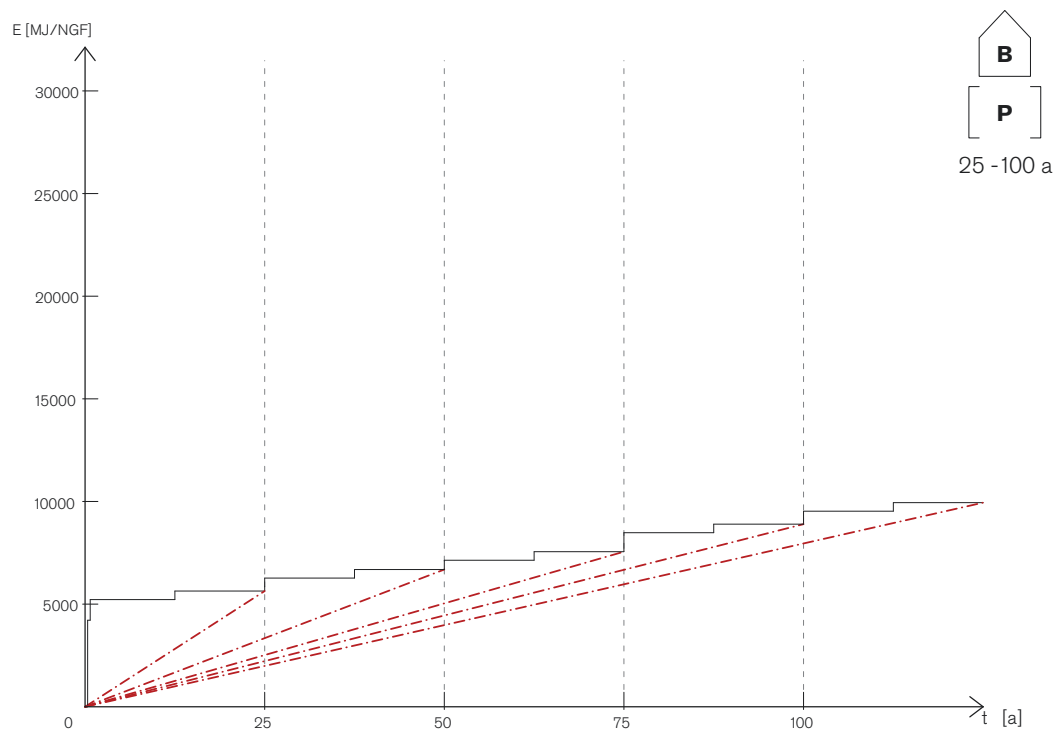
Abb. 9.19: Lebenszyklusverlauf der Fallstudie B (Stahlbau), Pflege-Szenario, $t_n=25$ Jahre

Abb. 9.21: Standzeit von 25 -100 Jahren, Fallstudie B (Stahlbau), Pflege-Szenario

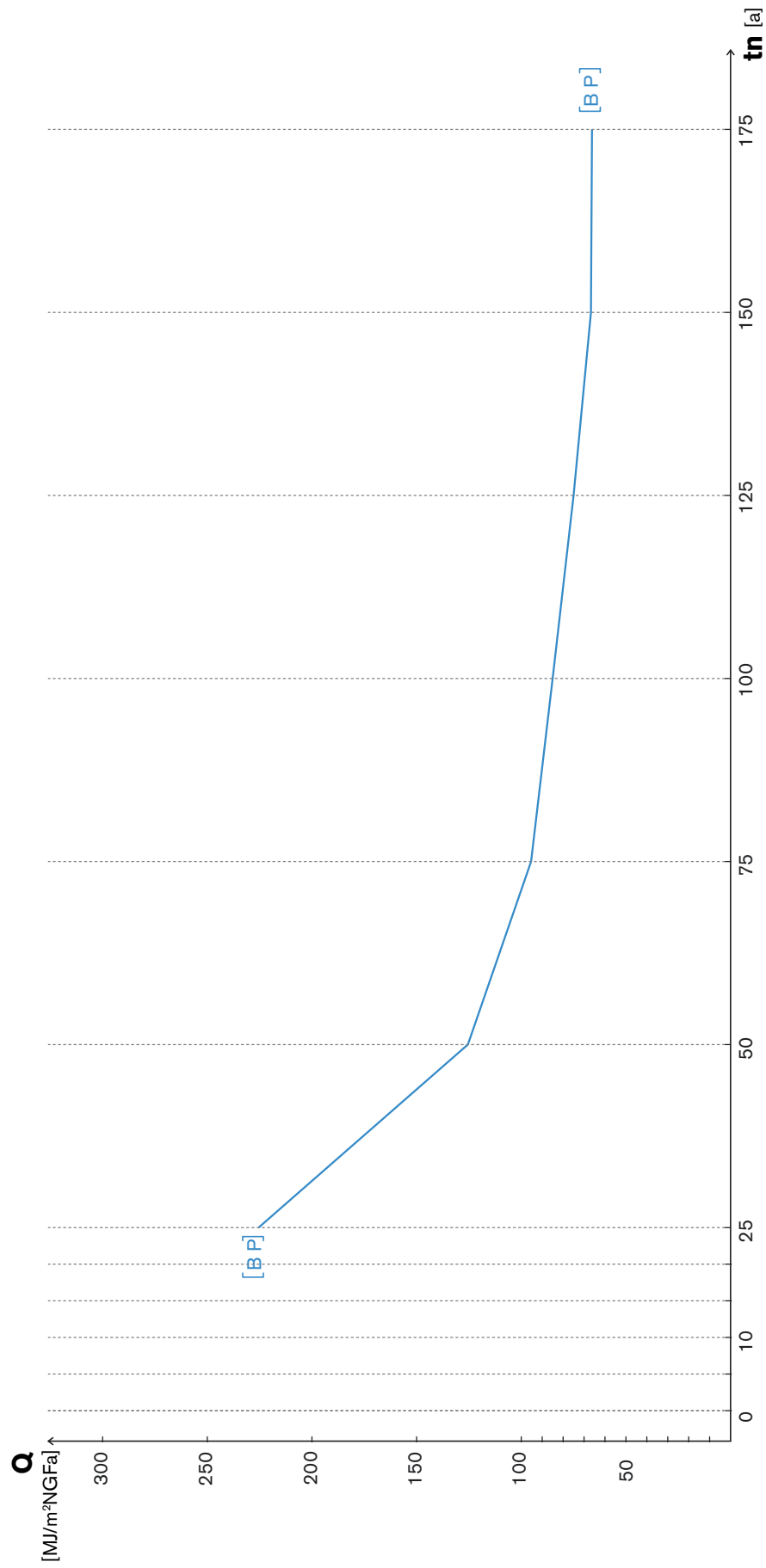


Abb. 9.22: Q-Werte im Pflege-Szenario, Fallstudie B (Stahlbau)

Auswertung der Ergebnisse

Wie ist der Bau der ETA-Forschungsfabrik in Bezug auf seine Lebenszyklusperformance zu bewerten?

Die Graphen in den Abbildungen 10.1 bis 10.3 dienen jeweils als Zusammenfassung der untersuchten Lebenszyklusverläufe eines Fallbeispiels. Während die x-Achse die Zyklus-Dauer beschreibt, ist an der y-Achse der Wert des Verhältnisses von grauer Energie zur Zeit als $Q = E/t$ ablesbar, den die jeweilige Tragwerksalternative im Rahmen der drei Szenarien erreichen würde. Hierbei bilden die Kurven des Rückbau-Szenarios (N/A) und des Pflege-Szenarios (P) die Spanne ab, zwischen einem pflegeintensiven Betrieb mit kürzeren Instandsetzungsintervallen und einem Betrieb mit minimalem Pflegeaufwand und längerfristigen Intervallen zu denen Bauteile dann komplett ersetzt werden müssen. Entscheidender Unterschied ist hierbei, dass die P-Kurve von einer kontinuierlichen Fortsetzung und Erweiterung der Nutzungsphase ausgeht und keinen Rückbau mit entsprechender energetischer Gutschrift abbildet, wie sie zum Beispiel der Holz- und der Stahlbau in ihren Datenquellen aufweisen. Die N/A-Kurven schließen Rückbau und Entsorgung mit ein. Sie gehen von einer vollständigen zyklischen Existenz, bestehend aus Auf- und Rückbau, aus, die der jeweiligen Zyklus-Dauer entspricht. An der R-Kurve ist ablesbar, wie weit das Verhältnis von 'verbrauchter grauer Energie zu Zeit', durch die Möglichkeit, Bauteile zu recyceln, optimiert werden kann.

In Abb. 10.1 sind die Kurven der Forschungsfabrik ETA zu sehen. Im Gegensatz zu den anderen untersuchten Fallbeispielen, gibt es eine weitere R-Kurve mit Werten, die durch ein Recycling von Bauteilen erreicht werden könnten: R2. Die Kurven R1 und R2 unterscheiden sich in dem Effizienzgrad, mit dem die wieder zu verwendenden Bauteile rückgebaut werden können. Das Szenario R1 geht davon aus, dass diese nicht ohne teilweise Zerstörung rückgebaut werden können. Dies entspricht den tatsächlich zur Anwendung gekommenen Fügungsdetails des Fabrikbaus und gängiger Praxis im Stahlbeton-Fertigteilbau. Szenario R2 zeigt, welche Werte erreichbar wären, wenn die Fügungsdetails so weit für eine Wiederverwendung der Stahlbeton-Fertigbauteile optimiert wären, dass diese zerstörungsfrei rückgebaut werden könnten.

Im Folgenden wird die Tragwerkskonstruktion der Forschungsfabrik mit den untersuchten, alternativen Fallbeispielen verglichen. Dabei sollen die Werte zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten miteinander verglichen werden, einmal nach 50 und einmal nach 100 Jahren.

Betrachten wir zunächst den Zeitpunkt $t=50$ Jahre. Die Effizienz im Umgang mit dem Einsatz grauer Energie ist beim Holzbau und beim Stahlbetonbau (die ETA-Forschungsfabrik) bei einer Standzeit von 50 Jahren vergleichbar. Der Stahlbau steht im Vergleich etwas besser da, weil er weniger Energieaufwand in der Herstellung als der Stahlbetonbau kostet und gleichzeitig in der Pflege und Instandhaltung bis zum Zeitpunkt $t=50$ Jahre im Vergleich zum Holzbau relativ anspruchslos ist. Anders stellt sich der Vergleich dar, wenn man das Szenario eines Rückbaus mit anschließendem Neubau zu diesem Zeitpunkt betrachtet. In diesem Fall sind der Holzbau und der Stahlbau vergleichbar. Deren Werte sinken um ungefähr ein Drittel im Vergleich zu dem Wert der realisierten Stahlbetonhalle. Für die

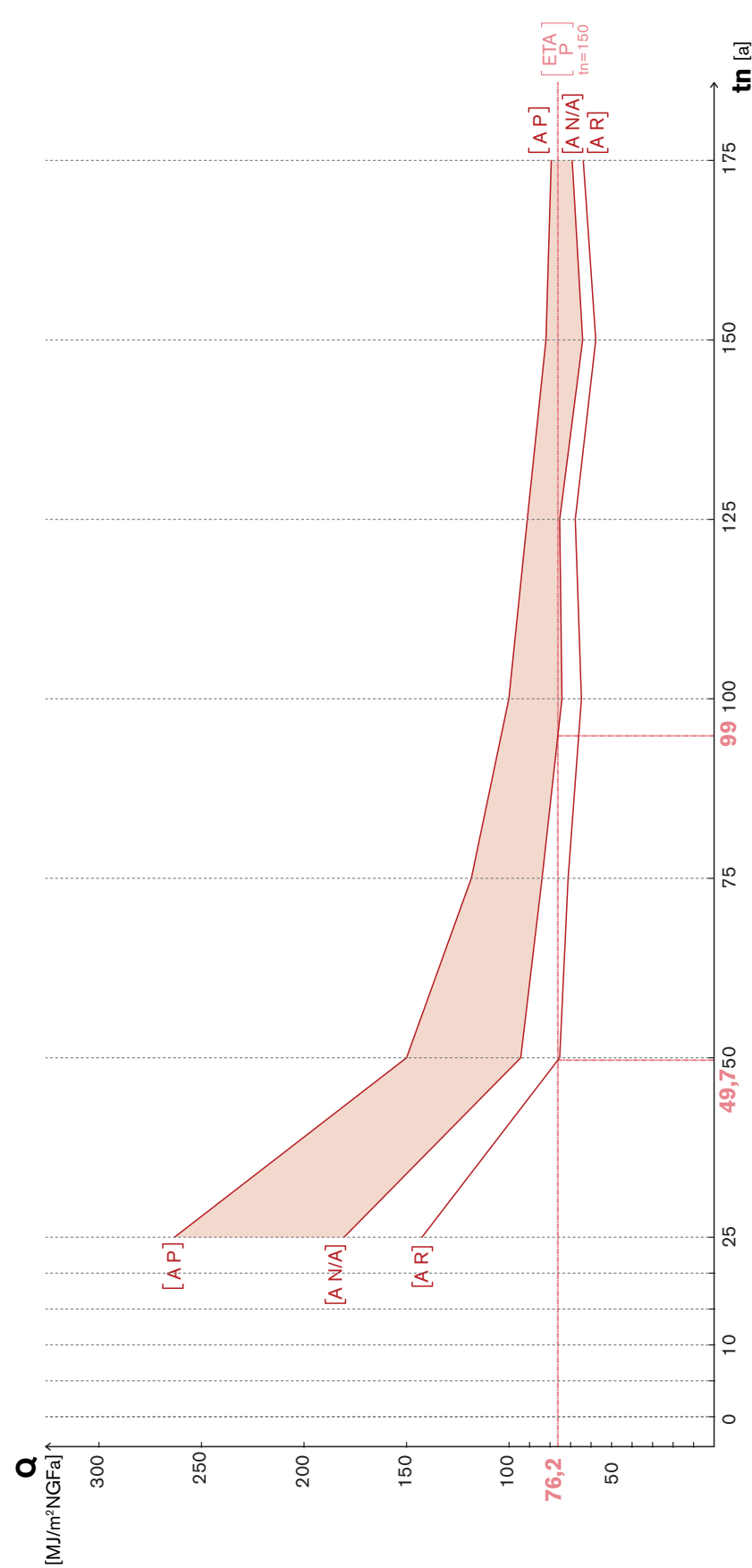


Abb. 10.1: P, N/A, R-Kurven, Fallstudie A (Holzbau)

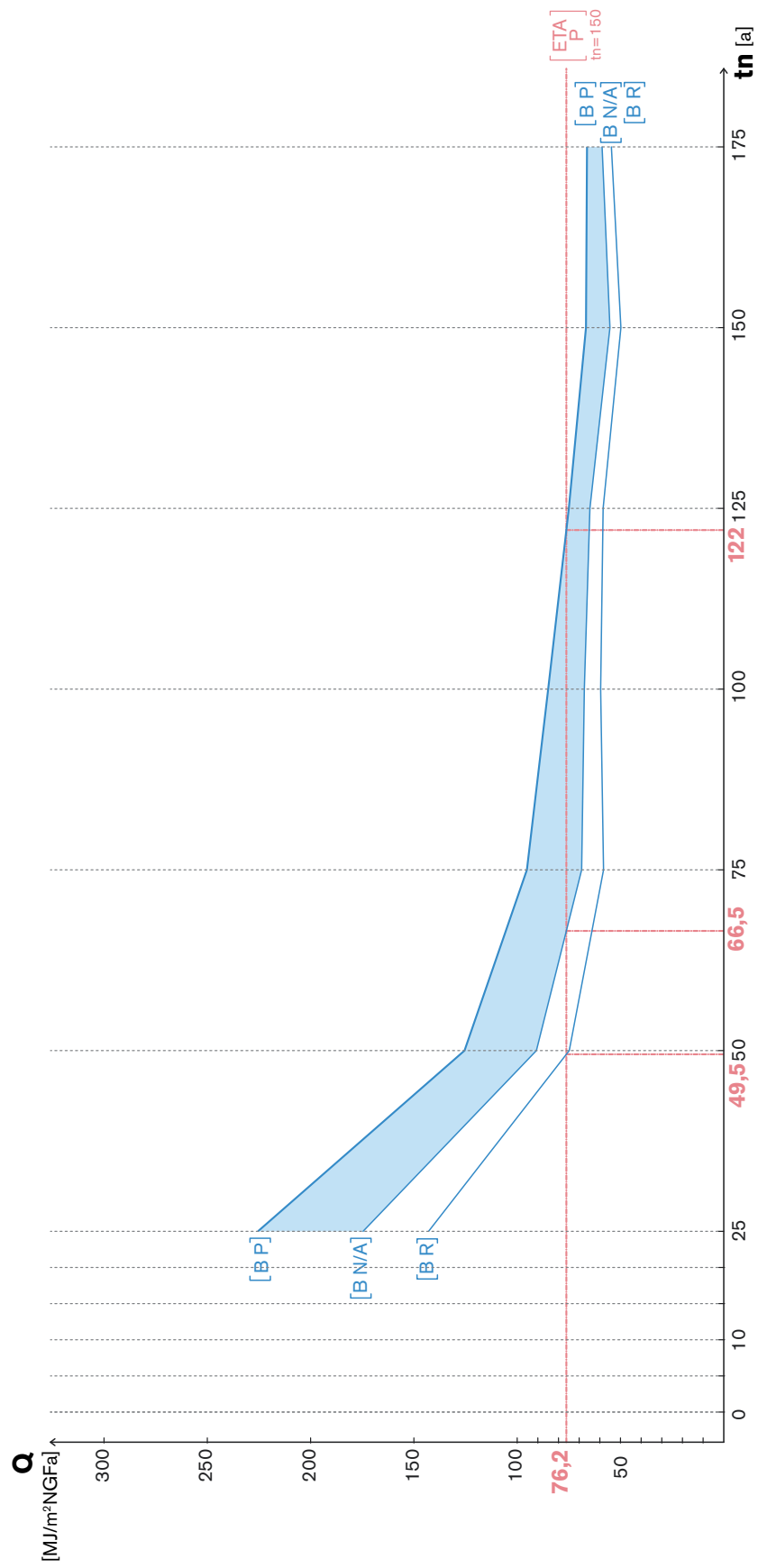


Abb. 10.12 P, N/A, R-Kurven, Fallstudie B (Stahlbau)

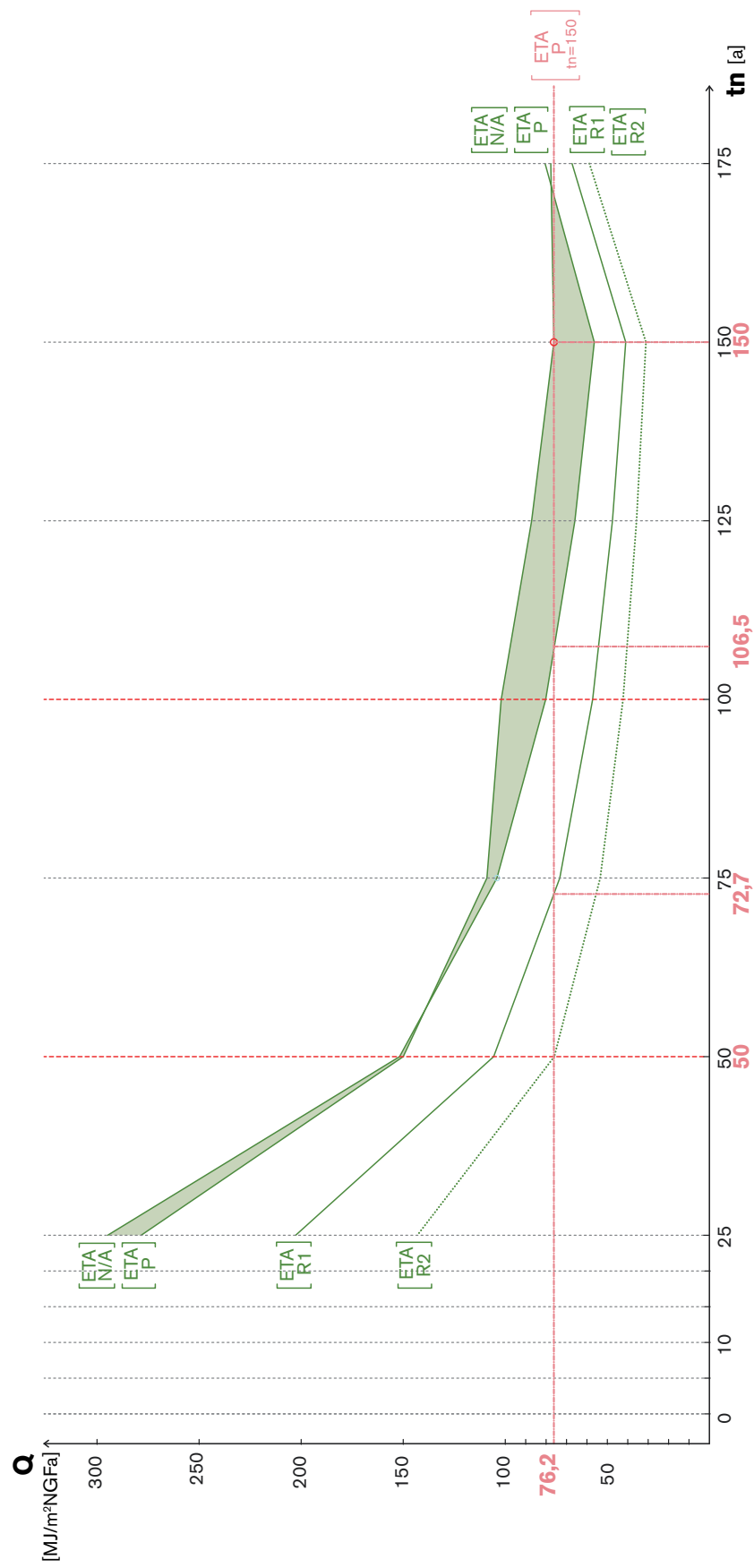


Abb. 10.3: P; N/A, R-Kurven, Fallstudie ETA (S+B)

Stahlbetonvariante ergibt sich aus dieser Betrachtung kein nennenswerter Vorteil. Die Werte dieses und des vorherigen Szenarios entsprechen sich. Durch das Recyceln der entsprechenden Baugruppen können die Werte aller Tragwerksvarianten nennenswert optimiert werden. Interessanter Weise ist bei den angenommenen Parametern zum Zeitpunkt $t=50$ Jahre kein nennenswerter Unterschied zwischen den Varianten festzustellen. Alle Werte liegen bei ca 80 MJ/NGFa. Mit der Einschränkung, dass in dieser Betrachtung auch bei der Stahlbetonhalle die Kurve R2 berücksichtigt wurde, die auch bei der Stahlbetonvariante von der Möglichkeit eines zerstörungsfreien Rückbaus ausgeht. Der Stahlbetonbau in konventioneller Ausführung, so wie er zur Realisation kam, wird diesen Wert allerdings nicht erreichen und bleibt etwas unter den Werten des Holzbaus und des Stahlbaus aus dem Rückbau-Szenario.

Was ändert sich an den Effizienzwerten nach weiteren 50 Jahren zum Zeitpunkt $t=100$ Jahre?

Festzustellen ist, dass alle Effizienzwerte sich selbstverständlich bei einer längeren Nutzungsdauer verbessert haben. Die Relation der Varianten untereinander ist dabei bis auf wenige Ausnahmen annähernd gleich geblieben. In den Szenarien ohne Rückbau, die statt dessen einen höheren Pflegeaufwand aufbringen und auf eine Verlängerung der Nutzungsphase setzen, werden annähernd Werte erreicht, die im Falle der Holz- und Stahlbau-Variante den Werten entsprechen, die mittels Rückbau und Gutschrift vor 50 Jahren erreicht worden wären. Das heißt aber auch, dass z.B. im Falle der Holzbau-Variante eine Strategie, die alle 50 Jahre auf einen vollständigen Rückbau (inklusive Verwertung) mit anschließendem Neubau setzt, bis zu diesem Zeitpunkt (100 Jahre) noch die effizientere Strategie gewesen wäre.

Bezogen auf die realisierte Forschungshalle lässt sich feststellen, dass sowohl die P-Kurve, die das Pflege-Szenario abbildet, wie die N/A-Kurve, welche das Rückbau-Szenario abbildet (das Pflege-Szenario berücksichtigt Instandsetzungsmaßnahmen, während das Rückbau-Szenario von einem minimalen Pflegeaufwand ausgeht) den Werten ähneln, die mit der Holzbau- und der Stahlbau-Variante im Pflege-Szenario erreicht werden. So kommt die Holzbau-Variante im Pflege-Szenario auf annähernd gleiche Werte, wie die Stahlbetonhalle, ebenfalls im Pflege-Szenario, während sich die Stahlbetonhalle im Rückbau-Szenario sogar etwas besser schlägt, als die Stahlhalle im Pflege-Szenario. Deutliche Vorteile erzielt die Stahlbetonhalle, wenn zu diesem Zeitpunkt noch ein Recycling von Bauteilen in Betracht gezogen wird. Aufgrund der Robustheit ihrer Bauteile, ist der Optimierungsspielraum hier besonders hoch. Ein Recycling rentiert sich sogar noch bei einer teilweisen Zerstörung der wieder zu verwendenden Bauteile (Kurve R1), wie es bei der momentanen Ausführung der Fall wäre.

Was lässt sich zusammenfassend zur Wahl des Tragwerks für die Forschungshalle unter dem Aspekt einer kreislaufgerechten Architektur sagen?

Wird die Halle nach 50 Jahren abgerissen bzw. rückgebaut ohne Wiederverwertung der Bauteile, so war ihre Konzeption als Stahlbetonbau aus der Perspektive eines effizienten Umgangs mit grauer Energie eine Fehlentscheidung. In diesem Fall hätte eine Konzeption als Holz- oder Stahlbau beträchtliche Vorteile gehabt. Stünde sie 100 Jahre oder länger, sähe ihre Bewertung anders aus. Der Unterschied zwischen Holzbau und Stahlbetonbau hat sich zu diesem Zeitpunkt schon beinahe egalisiert.

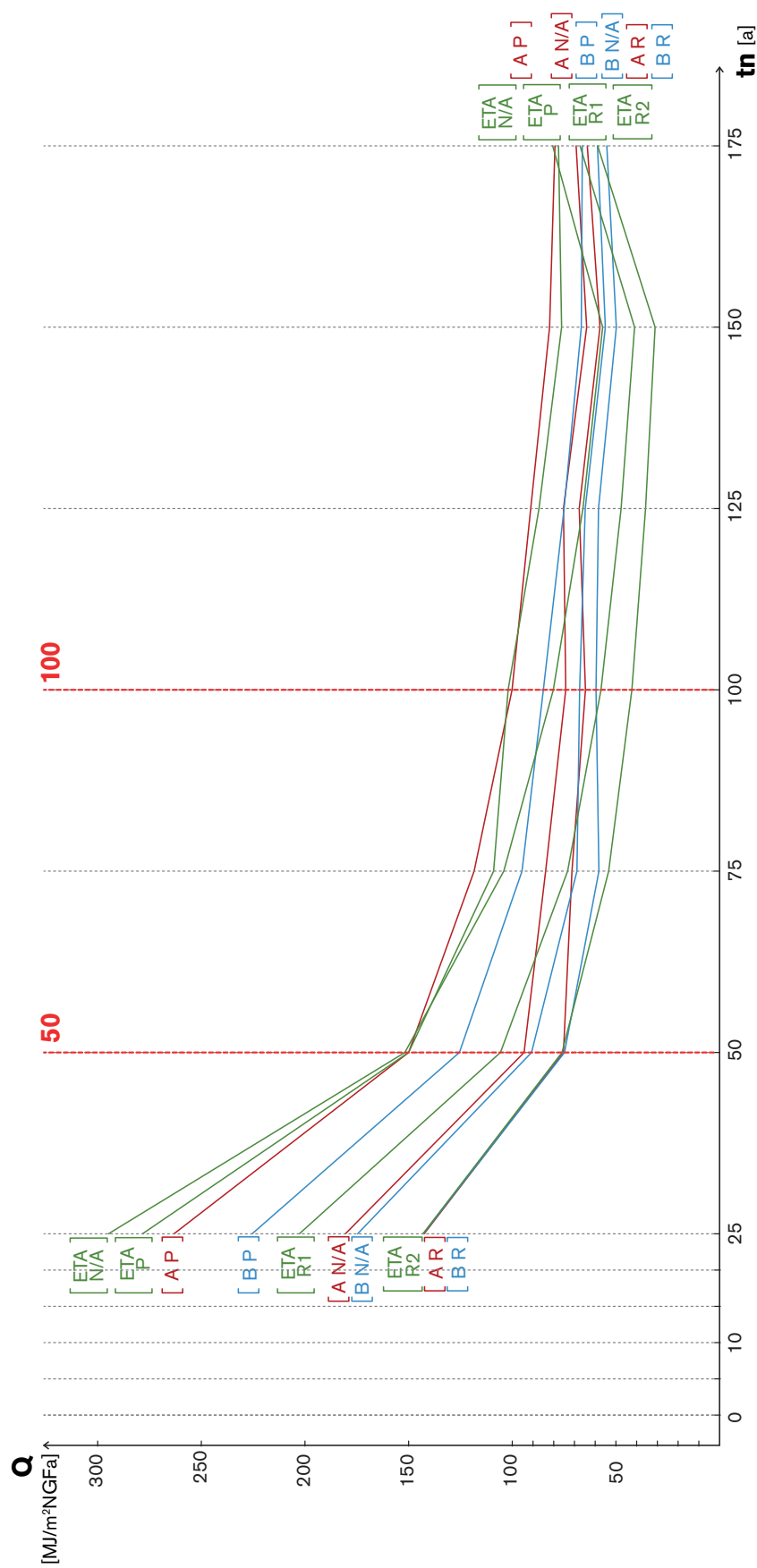
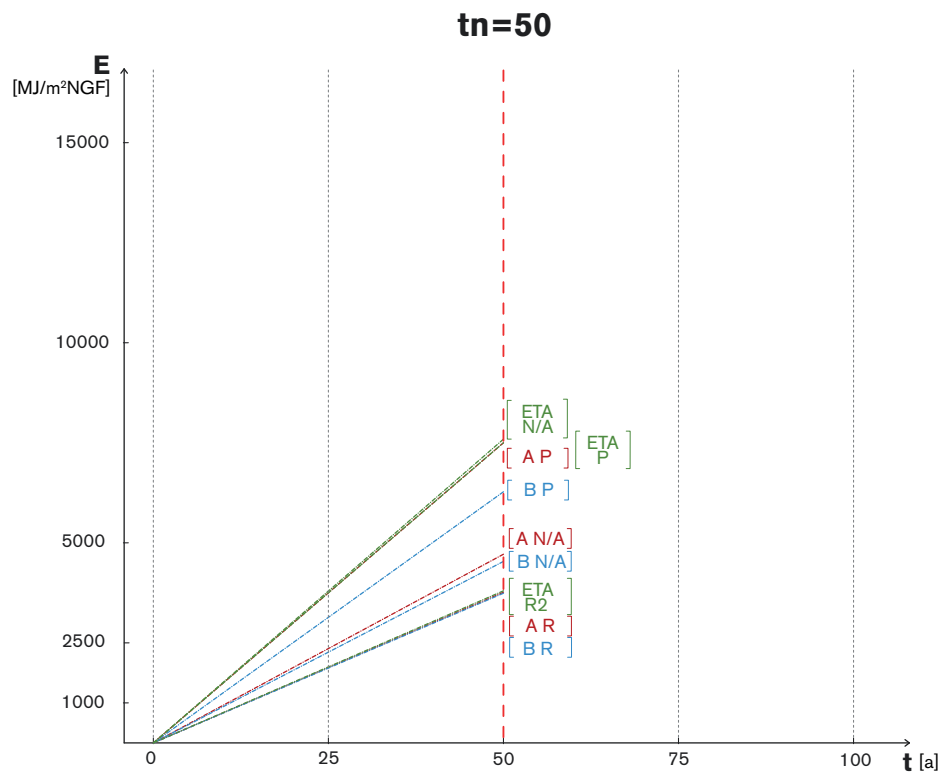
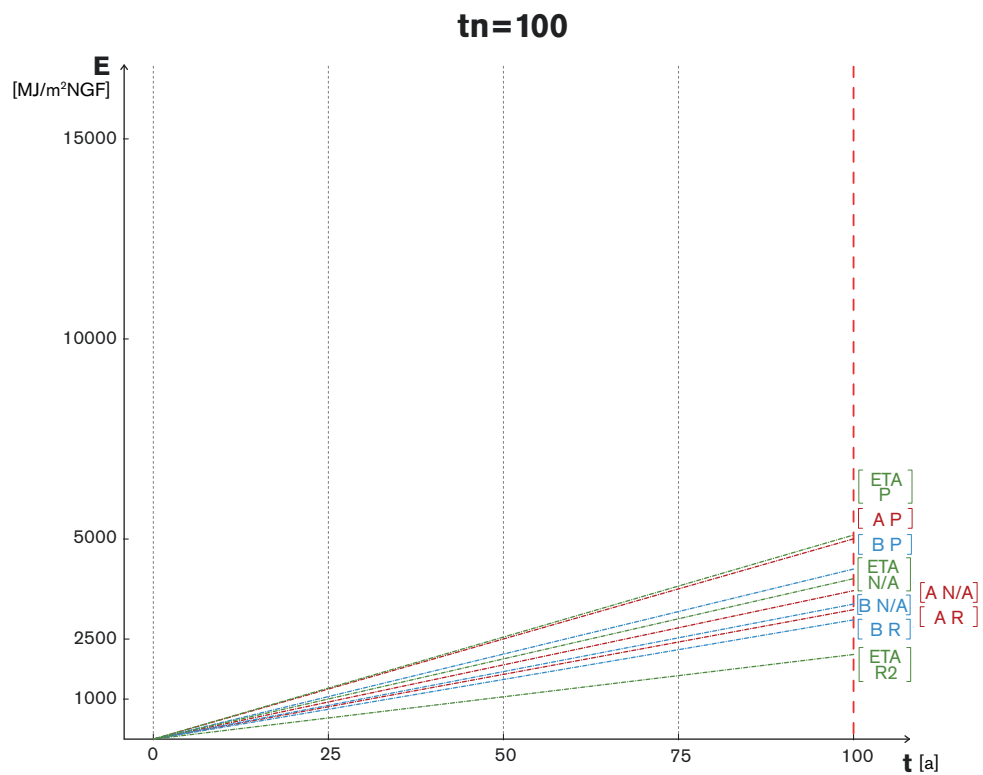


Abb. 10.4: Gesamte Kurvenschar der untersuchten Fallstudien; Vergleich zu den Zeitpunkten $t=50$ und $t=100$

Abb 10.5: Q-Werte im Vergleich zum Zeitpunkt $t=50$ JahreAbb. 10.6: Q-Werte im Vergleich zum Zeitpunkt $t=100$ Jahre

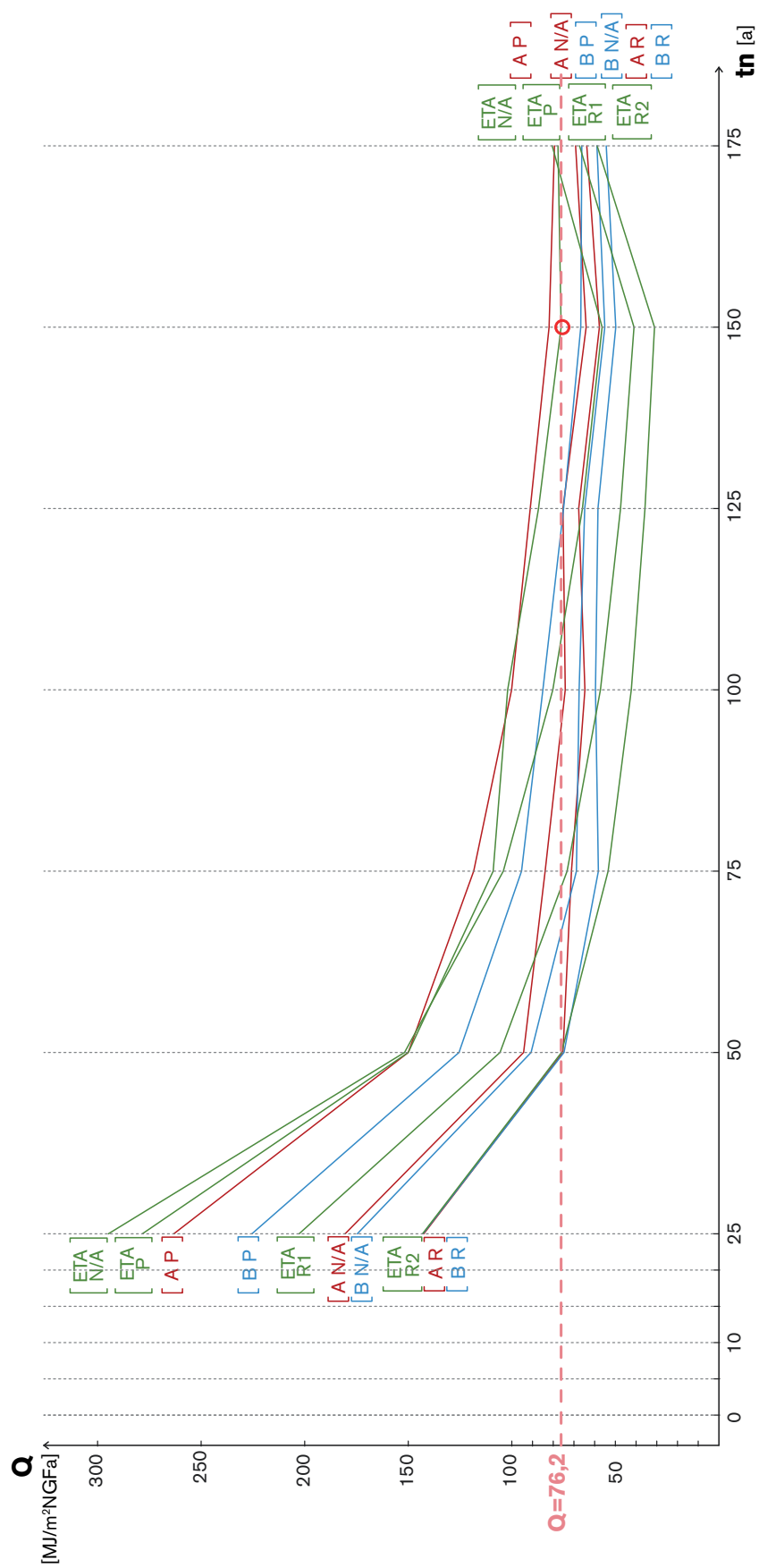


Abb. 10.7: Gesamte Kurvenschar der untersuchten Fallstudien, verglichen mit dem Q-Wert, den die ETA-Fabrik zum Zeitpunkt $t=150$ Jahre aufweisen würde.

Q=76,2

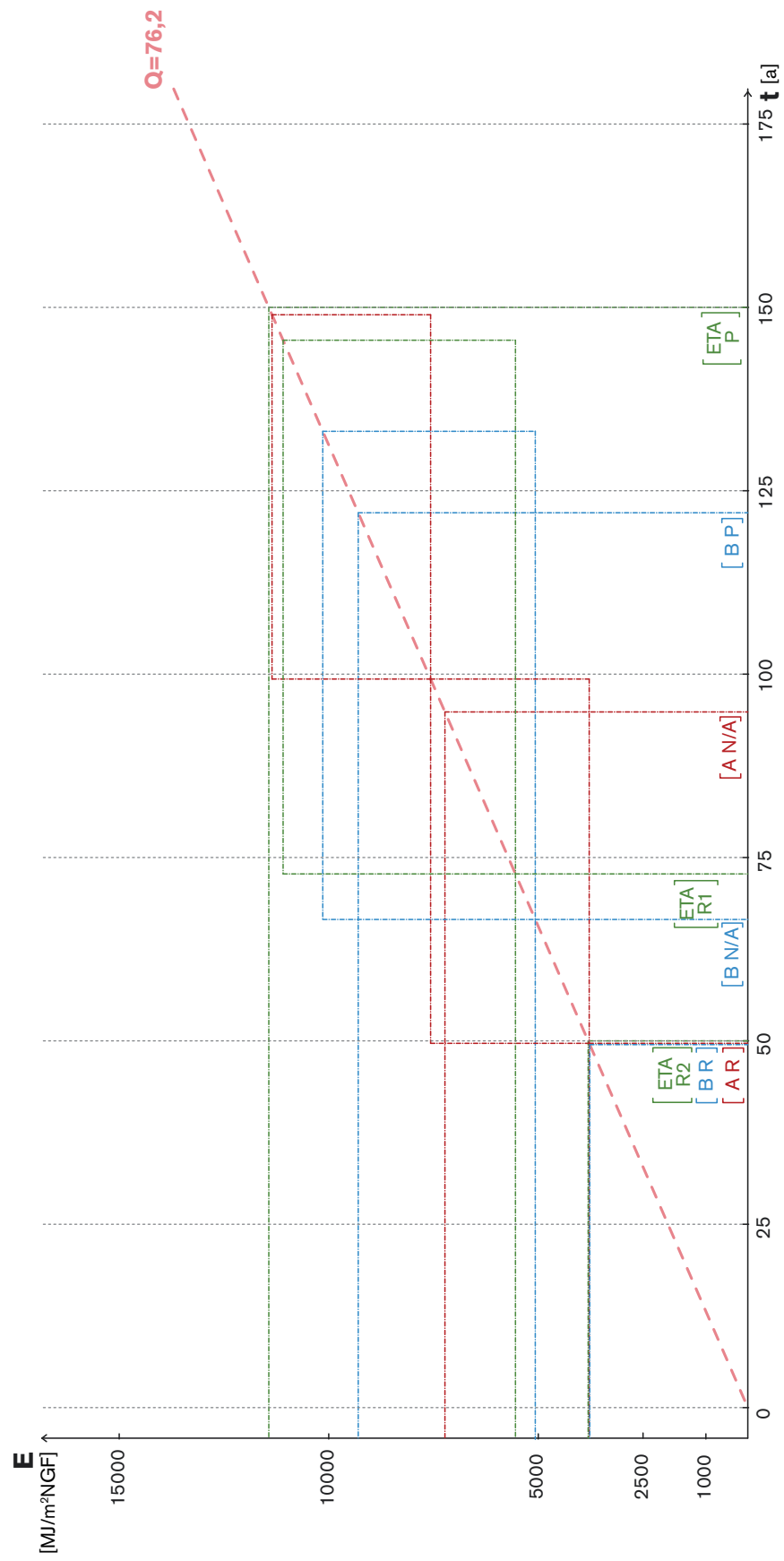


Abb. 10.8: Tragwerksalternativen, die den gleichen Q-Wert aufweisen, den die ETA-Fabrik zum Zeitpunkt $t=150$ Jahre aufweisen würde.

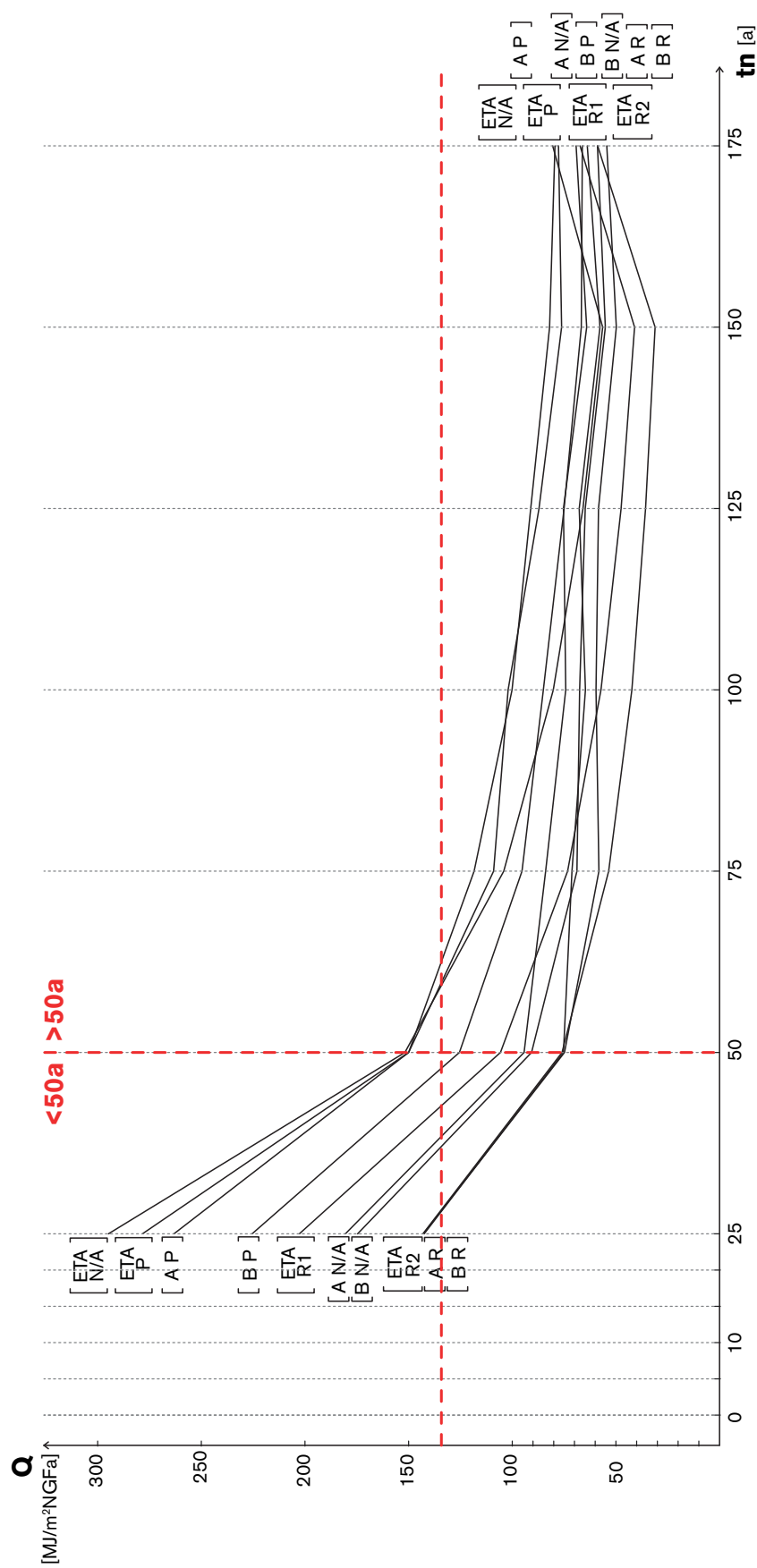


Abb. 10.9: Allgemeine Betrachtung des Kurvenverlaufs der untersuchten Fallstudien vor und nach 50 Jahren

Auch zu diesem Zeitpunkt stellt sich allerdings der Stahlbau noch als leicht günstigere Variante dar.

Betrachtet man aber die Möglichkeit, den Einsatz grauer Energie durch das Recyclen von Bauteilen zu optimieren, dann stellt sich eine Bewertung der Varianten anders dar. Bei einer Standzeit bis zu 50 Jahren wären Holzbau, Stahlbau und Stahlbetonbau als gleichwertig zu bewerten. Bei längeren Standzeiten zahlt sich schließlich die robustere Bauweise des Stahlbetonbaus aus. Diese Variante erzielt deutlich bessere Werte. (Allerdings muss man ehrlicherweise dazu sagen, dass erfahrungsgemäß die Wahrscheinlichkeit eines Bauteil-Recyclings bei längeren Standzeiten abnimmt)

Welchen Wert hat die angewandte Methode für den Entwurf? Inwiefern kann sie dazu dienen, vergleichbare Alternativen für eine Bauaufgabe zu ermitteln?

Die bislang besprochenen Graphen haben sich dadurch ausgezeichnet, dass auf ihnen deutlich zu erkennen ist, wie die Effizienz der jeweiligen Tragwerksvarianten zu einem festen Zeitpunkt zu bewerten sind. Klar ist auf ihnen zu erkennen, welche Variante für den gewählten Zeitpunkt die optimale wäre. Aber ist dies für den Entwurf immer die richtige Perspektive?

Wie gesagt, könnte die Frage auch lauten: Welche Lösungen sind bei Festlegung eines fixen Werts für das Verhältnis von grauer Energie zu Zeit (E/t -Quotienten) möglich? Ein solcher Vergleich soll an folgendem Beispiel erläutert werden: Den Vergleichswert stellt der zur Realisierung gekommene Stahlbetonbau zum Zeitpunkt $t=150$ Jahre her. In der Graphik in Abb. 10.7 stellt sich dieser Wert als Horizontale parallel zur x -Achse dar. Aus den Schnittpunkten mit den Kurvenverläufen der Tragwerksalternativen ergeben sich die Zykluslängen, zu denen diejenigen Tragwerksalternativen den gleichen E/t -Quotienten aufweisen den der Stahlbetonbau zum Zeitpunkt $t=150$ erreicht. Hieraus ergibt sich das Schaubild in Abb. 10.8. Dieses zeigt analog zu der Skizze aus den Vorüberlegungen der Untersuchung (s. Abb.), wie die Aufgabe, '150 Jahre Halle' unterschiedlich beantwortet werden kann: Mit einer Halle, die alle 50 Jahre verlegt wird, aber bei der ein Großteil des Tragwerks und der Hülle im Neubau wiederverwendet werden können. Die Halle hierfür könnte als Holzbau, als Stahlbau oder als Stahlbetonbau ausgeführt werden oder mit einer Halle in Stahlbauweise, die alle 65-75 Jahre komplett rückgebaut und wieder aufgebaut wird oder eben mit einer Halle in Stahlbetonbauweise, die mindestens 150 Jahre lang am Stück genutzt wird. Auf diese Weise lassen sich die untersuchten Fallbeispiele in unterschiedliche Gebäudetypen aufgrund ihres zugewiesenen Zeitintervalls einteilen. Je nach dem weiteren Entwurfs- bzw. Gebäude-Kontext kann es sinnvoller sein, eine Halle mit einem Zeithorizont von 50 Jahren, von 75 Jahren oder eben von 150 Jahren einzusetzen.

Welche Erkenntnisse allgemeiner Art lassen sich aus der vorliegenden Studie ziehen?

Wie anhand des Graphen in Abb. 8.9 zu erkennen ist, wird der Wert für Q immer günstiger je größer das betrachtete Zeitintervall wird. Allerdings fällt die Kurve im ersten Drittel des Graphen steil ab (ca. bis zum Zeitintervall von 50 Jahren), während sie danach immer flacher wird. Daher wird es, selbst unter Zuhilfenahme von Recyclingstrategien, schwierig, einen Gebäudetypus mit einem Zeitintervall, das kleiner als 50 Jahre ist, zu finden, der einen Gebäudetypus ersetzen könnte, der auf einem

Zeitintervall von 100 und mehr Jahren beruht. Es liegt nahe, diese Bauaufgaben unabhängig voneinander zu bewerten. Schaut man sich die Kurvenschar in Abb. 8.9 an, kann man eben feststellen, dass im ersten Drittel, bis zum Zeitpunkt 50 Jahre, die Unterschiede entlang der y-Achse sehr deutlich sind. Das Optimierungspotential mittels Recyclingstrategien ist ebenfalls groß. Im Bereich von Zeitintervallen > 50 Jahre ist umgekehrt die Vergleichsmöglichkeit entlang der x-Achse deutlich ergiebiger. Daraus lässt sich schließen, dass für Bauten mit einem zu erwartenden Zeitintervall von weniger als 50 Jahren, eine Optimierung von Konstruktion und Material zu priorisieren ist, während Bauten, die auf längere Zeitintervalle hin konzipiert sind, weniger unter einem solchen Optimierungsdruck stehen und eine größere Freiheit in der Wahl des richtigen Gebäudetyps bieten.

Teil Vier: Diskussion und Fazit

Diskussion

Welche Lücken weist die vorliegende Untersuchung auf und woran könnte eine Folgeforschung anschließen?

Um den Gesamtzusammenhang der Problemstellung darlegen zu können hat die vorliegende Arbeit Ungenauigkeiten in Kauf genommen, in dem sie sich zum einen allein auf schon vorhandenes Datenmaterial, sowie vorfabrizierte Werkzeuge beschränkt hat und zum anderen indem sie an Stellen, an denen momentan noch Wissenslücken in der Forschung bestehen auf Platzhalter zurückgegriffen hat, um den Lebenszyklus trotzdem methodisch komplett erfassen zu können. Des Weiteren wurde der Untersuchungsgegenstand bewusst vereinfacht, um die Ergebnisse überschaubar und vor allem vergleichbar zu halten. Dies führt zu den folgenden Einschränkungen und Vorbehalten auf die bei einer Diskussion der Ergebnisse hingewiesen werden muss:

1. Für einige Energieaufwendungen bzw. Input-Ströme im Lebenszyklus eines Bauwerks fehlen noch belastbare Daten. So sind die energetischen Aufwendungen für Konstruktion und Rückbau noch schwer zu ermitteln. Insbesondere für den kontrollierten Rückbau wären differenzierte Angaben vonnöten, zur Bewertung unterschiedlicher Bauteilfügungen. Wie aufwendig ist die Trennung von zwei Bauteilen, will ich sie wiederverwenden oder auch nur weiterverwerten? Für diese Aspekte hat die vorliegende Studie Platzhalter verwendet, in der Hoffnung, dass diese Arbeit mit zukünftigen Arbeiten, die sich diese Fragen zum Thema machen, verknüpft werden kann. Gleiches gilt für den Pflegeaufwand und die Instandsetzungszyklen von Bauwerken. Hier gilt es ebenso die pauschalen Annahmen dieser Untersuchung in Zukunft durch belastbarere Werte zu ersetzen.

2. Wie schon im Kapitel zur Ökobilanz erwähnt, beschränkt sich diese Studie auf die Betrachtung der kumulierten Primärenergiewerte und geht z.B. nicht auf die Werte des CO₂-Äquivalents ein, wohlwissend, dass die Betrachtung dieser Werte möglicherweise zu gänzlich anderen Schlussfolgerungen führen könnte.

Der eingeschränkte Blick auf den Verbrauch grauer Energie, wie ihn die vorliegende Studie praktiziert, mag antiquiert vorkommen. Es ist aber vor allem dieser Aspekt, an dem sich die architektonische Haltung eines Bauwerks kristallisiert. Wie ein Bauwerk mit seiner grauen Energie umgeht, spiegelt sich in seiner architektonischen Qualität und Haltung wieder. Die Frage nach dem energetischen Aufwand eines Gebäudes ist von besonderer Relevanz für die Architektur, weil sie nicht die Frage nach richtig oder falsch stellt (dem richtigen oder falschen Material), sondern die Frage nach der richtigen Relation von Aufwand zu Ergebnis und damit die Frage nach einer architektonischen Eigenschaft. Das soll nicht bedeuten, dass die Frage, wie groß die klimarelevanten Auswirkungen eines Bauwerks sind, für nicht wichtig erachtet wird. Diese stellt nur einen weiteren Aspekt dar, der in einem nächsten Schritt zu klären wäre.

Welche Rolle kann die vorliegende Untersuchung für den Entwurfsprozess spielen?

Im Entwurfsprozess geht es immer darum eine Vielzahl an sich möglicherweise widersprechenden Interessen, Ansprüchen, Wünschen unter ein Dach zu bekommen. So widersprechen sich in vielen Belangen ökonomische und ökologische Aspekte, Bauherreninteressen und öffentliche Interessen, bauphysikalische Anforderungen und solche des Denkmalschutzes, um nur einige mögliche Konflikte zu benennen. Der Entwurfsprozess ist daher eher als ein Prozess zu beschreiben, der in der Breite angelegt sein muss und einen Kompromiss sucht. Er beruht auf dem Vergleich von alternativen Lösungsmöglichkeiten, die sich der Entwerfende zuerst erschließen muss. Immer beruht eine Entwurfsentscheidung auf der Bewertung vergleichbarer Möglichkeiten. So ist auch die Herangehensweise der vorliegenden Untersuchung zu verstehen, bei der die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Gebäudekonzepte und nicht so sehr ein Optimierungsprozess im Vordergrund steht.

Fazit

Angetrieben von der Frage, wie können Überlegungen zum effizienten Umgang mit grauer Energie Bestandteil des Entwurfsprozesses werden, hat diese Arbeit versucht eine Methode zu entwickeln, mit deren Hilfe der Einsatz von grauer Energie in einem Bauwerk vereinfacht dargestellt und bewertet werden kann. Ziel hierbei war die Bereitstellung und Darstellung von Information in einer Weise, die für den Entwerfenden greifbar wird und so wiederum in den Entwurfsprozess einfließen kann. Bedingung hierfür war zum einen ein hoher Grad an Vereinfachung und zum anderen die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Will man Ressourceneffizienz bewerten, so muss man unweigerlich die zeitliche Dimension von Architektur berücksichtigen und konzeptionalisieren. Entwerfen unter dieser Prämisse bedeutet, den Lebenszyklus eines Bauwerks zu bestimmen und schließlich auch zu gestalten. Notwendig hierfür ist eine differenzierte Betrachtung und Darstellung der unterschiedlichen Lebenszyklusphasen eines Bauwerks, sowie die Einschätzung bzw. Festlegung seiner Dauer (oder besser noch: der Länge seines Zyklus). Das jeweilige spezifische Verhältnis von Energieaufwand zu Zeit kann mit der vorgestellten Methode berechnet und dargestellt werden. Zudem können Strategien entwickelt werden, dieses Verhältnis zu manipulieren (Recyclingstrategien). So entstehen Gebäudetypen mit konkreten Lebenszykluseigenschaften. Wie ich versucht habe darzulegen, berührt die Frage nach ihrer zeitlichen Dimension ganz wesentliche Fragen der Architektur. Eine Kategorisierung von Bauwerken in Lebenszyklustypen stellt sich für mich daher als wichtiges zukünftiges Forschungsfeld einer nachhaltigen Architektur dar. Will man dieses Forschungsfeld näher umreißen lohnt sich ein Blick zurück in die Architekturgeschichte, in der immer wieder Beispiele zu finden sind, wie der Zeitbezug eines Bauwerks zum Gegenstand von architekturtheoretischen Überlegungen wurde.

In seinem bekannten Aufsatz: „Überlegungen zum Problem der Monumentalität“ von 1938 spricht sich der Schweizer Kunsthistoriker Peter Meyer für einen der jeweiligen Bauaufgabe angepassten Einsatz monumentaler Bauweise aus. Er argumentiert in den 30er Jahren vor dem Hintergrund der Debatte zwischen Verfechtern des Neuen Bauens und den sogenannten Traditionalisten. Interessant an seiner Argumentation ist, dass er versucht einen Mittelweg zu finden, in dem er Monumentalität als „Tonart“ beschreibt bzw. wieder einführt, die eben für bestimmte Bauaufgaben die

richtige sei und für andere nicht. Eine Tonart, die deswegen gesellschaftliche Relevanz besitzt, weil sie an kulturelle Traditionen anknüpft. Er bezieht sich hierbei natürlich in erster Linie auf Fragen des Stils, aber implizit geht es ihm um die Angemessenheit der eingesetzten Mittel. Bemerkenswert für die Idee von Lebenszyklustypen finde ich, dass Meyer zum einen darlegt, wie die Frage nach dem gestalterischen Zeitbezug eines Gebäudes zum Bestandteil einer Bauaufgabe wird und wie zum anderen diese Frage sehr differenziert nach der jeweiligen gesellschaftlichen Relevanz oder Rolle die ein Bauwerk spielt, zu beantworten ist. Dabei kann einmal die Forderung nach Permanenz und Identität im Vordergrund stehen und ein anderes Mal die nach Wandelbarkeit und Flexibilität. Beides hat seine Berechtigung im urbanen Kontext unserer modernen Gesellschaft.

Ein Gedanke, der in einem Aufsatz des Architektenehepaars Alison und Peter Smithson, erschienen in der *Architectural Review* aus dem Jahr 1960, wiederzufinden ist: „The buildings in an urban environment should reflect the appropriate cycle of change.“¹, fordern sie dort. Vor dem Hintergrund der immer schneller sich wandelnden Städte der Nachkriegszeit, schlagen sie eine Unterscheidung von Gebäudetypen hinsichtlich ihrer zeitlichen Rolle bzw. Relevanz in der Stadt vor. Als 'Fixes' bezeichnen sie Bauwerke, die einem relativ langsamen Wandlungsprozess (cycle of change) unterliegen, während sie die kurzlebigeren Bauwerke als 'Transients' bezeichnen. 'Fixes' sollen die identifikationsstiftenden Orientierungspunkte in der Stadt bilden, während die rasch wandelbaren bzw. rückbaubaren 'Transients' es ermöglichen sollen, auf kurzfristige Bedürfnisse und Stimmungen in der Stadtgesellschaft zu reagieren². Mit anderen Worten, während die 'Fixes' dem Ewigkeitswert von Architektur verpflichtet sind, sind es die 'Transients' ihrem Gebrauchswert. An konkreten Beispielen erläutern sie beide Typen. Während Mies van der Rohe's Crown Hall ihnen als Beispiel eines 'Fix' dient, steht für sie das Wohnhaus der Eames stellvertretend für den Typ des 'Transient'.

Offensichtlich ist für sie, was an der Wahl dieser beiden Beispiele deutlich wird, die Unterscheidung der beiden Typen weniger eine Frage ihrer materiellen und konstruktiven Umsetzung – beide Beispiele unterscheiden sich in ihrer konstruktiven Logik kaum –, als eine der architektonischen Konzeption oder besser noch ihrer architektonischen Identität: „Transience and permanence are in the conception of a building as much as its material structure.“³

Das Bild der fixen, identitätsstiftenden architektonischen Elemente in der Stadt findet sich auch in Aldo Rossis 'Architektur der Stadt' wieder. Als Permanenz bezeichnet er dort das städtebauliche Phänomen, welches für die Identität eines Ortes, einer Stadt in Form zeitlicher Kontinuität verantwortlich ist. „Permanenz im Städtebau kann [...] als Vergangenheit, die wir heute erfahren, gedeutet werden“⁴. Bei ihm sind es die primären Elemente in der Stadt, die Baudenkmäler – die Smithsons würden

1 (Smithson 1960, S.437)

2 Die Elemente, die sich nach ihrer Ausführung eignen, als 'Fixes' für Kontinuität und Identität in der Stadt zu sorgen, sind Gebäude öffentlicher Nutzung, wie Rathäuser, Kirchen und Museen, sowie Bauwerke außerordentlicher Größe, wie z.B. Kraftwerke oder Infrastrukturbauten, wie z.B. Bahnhöfe etc und es sind die großen Strassentrassen entlang derer die Städte wachsen.

3 (Smithson 1960, S.437)

4 Vgl. (Rossi and Rossi 1973, S.42)

sagen: 'Fixes' – ,die für diese zeitliche Kontinuität sorgen. Aber ebenso, wie bei den Smithsons ist auch für ihn die fortwährende Wandelfähigkeit der Stadt eine Voraussetzung. Erst dieser Wandel bringt die identifikationsstiftenden Elemente der Stadt hervor. Auch die primären Elemente sind als solche nur vor dem Hintergrund der sich wandelnden Stadt erkennbar⁵.

Interessanterweise findet er in dem Begriff 'Typus' einen Weg, wie die Elemente der Stadt, die für ihre Wandelfähigkeit verantwortlich sind ebenfalls identitätsstiftende Eigenschaften besitzen und so ihren Anteil zur Permanenz der Stadt beitragen. Im Sinne von Quatremère de Quincy versteht Rossi unter Typus „[...] eine Idee, die dem Modell als Regel dient [...]“. Es ist also nicht das Bauwerk selber, das hier überdauert, sondern eine architektonische Idee, die im Laufe der Zeit immer wieder neu interpretiert wird⁶.

Den Stadtbildern der Smithsons und Aldo Rossis ist gemeinsam, dass ihre Architektur sowohl Permanenz und Identität, als auch Wandelbarkeit und Anonymität zu bewältigen hat. Rossi, wie die Smithsons hatten schon früh erkannt, dass für einen modernen, lebendigen, urbanen und identitätsstiftenden städtischen Raum beide Seiten notwendiger Weise gleichermaßen entwickelt und gestaltet werden müssen. Dies gilt für unsere heutigen Stadträume, mit dem Wissen, dass wir heute haben, in noch größerem Maße. Lange Zeit hat sich Architektur allein mit den 'festen', dauerhaften Teilen der Stadt beschäftigt und es dem Lauf der Zeit überlassen, welche dieser Bauten sich behaupten und welche nicht. Heute wissen wir, dass wir es uns nicht mehr leisten können, die kurzen Stoffkreisläufe in der Stadt mit allzu großen Ressourcenmengen zu belasten. Ein wesentlicher Bestandteil von Architektur muss heute mehr denn je sein, ein differenziertes und angemessenes Zeitkonzept für ein Bauwerk zu entwickeln. Diese Arbeit hat versucht darzulegen, wie die Forderung nach einer nachhaltigen, ressourceneffizienten und kreislaufgerechten Architektur eben genau hier ansetzt bzw. ansetzen sollte.

5 *Rossis Begriff der Permanenz unterscheidet sich von dem der Dauerhaftigkeit insofern, als Permanenz immer Kontinuität im Wandel beschreibt, Dauerhaftigkeit sich aber ausschließlich auf das Andauern eines statischen Objekts bezieht.*

6 *Ein solch typologischer Ansatz könnte ein möglicher Anhaltspunkt sein, wie die Konzeption von Bauwerken mit kurzen Zyklen zu entwickeln wäre.*

Bibliografie

- Assmann, Aleida. 1991. Kultur als Lebenswelt und Monument. Orig.-Ausg. ed, Fischer-Taschenbücher. Frankfurt am Main: Fischer-Taschenbuch-Verl.
- Braungart, Michael, and William McDonough. 2014. Cradle to cradle einfach intelligent produzieren. Ungekürzte Taschenbuchausg. ed, Piper. München [u.a.]: Piper.
- Bredenbals, Barbara, and Wolfgang Willkomm. 1996. Neue Konstruktionsalternativen für recyclingfähige Wohngebäude. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl.
- Bredenbals, Barbara, Wolfgang Willkomm, Helmut Weber, Barbara Bredenbals, Wolfgang Willkomm, and Helmut Weber. 1997. Ausschreibungshilfen für recyclinggerechte Wohnbauten. Überarb. Fassung ed. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl.
- Christen, Kurt, and Paul Meyer-Meierling. 1999. Optimierung von Instandsetzungszyklen und deren Finanzierung bei Wohnbauten Forschungsbericht. Zürich: vdf.
- de Bruyn, Gerd. 2008. Die enzyklopädische Architektur zur Reformulierung einer Universalwissenschaft, ArchitekturDenken. Bielefeld: Transcript.
- Durmisevic, Elma. 2006a. Transormable Building Structures Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction. Delft.
- Durmisevic, Elma. 2006b. Transormable Building Structures Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction. Delft.
- Engel, Heino. 2013. Tragsysteme = Structure systems. 5. Aufl. ed. Ostfildern: Hatje Cantz.
- Ferraris, Maurizio. Herbst/Fall 2014. „Die Grenzen der Architektur.“ Get Real! Die Wirklichkeit der Architektur = Architectural realities 217 Arch+ Zeitschrift für Architektur und Städtebau:4.
- Fischer, Günther. 2010. „Vitruv NEU oder was ist Architektur?“ In Bauwelt-Fundamente. Gütersloh: Bauverl. [u.a.]. <http://www.degruyter.com/view/product/202249>.
- Franck, Georg, and Dorothea Franck. 2008. Architektonische Qualität, Edition Akzente. München: Hanser.
- Giedion, Sigfried, and Dorothee Huber. 1985. Befreites Wohnen, Taschenbücher Syndikat EVA. Frankfurt am Main: Syndikat.
- Grahl, Walter Klöpffer und Birgit, Walter Klöpffer, and Birgit Grahl. 2009. Ökobilanz (LCA). 1. Aufl. ed. Weinheim: Wiley-VCH.
- Habraken, John, and Jonathan Teicher. 2000. The structure of the ordinary Form and control in the built environment. first paperback edition ed. Cambridge: MIT Press.
- Hauser, Susanne. 2001. Metamorphosen des Abfalls Konzepte für alte Industriea-

- reale. Frankfurt/Main [u.a.]: Campus-Verl.
- Hauser, Susanne. 2011. Architekturwissen Grundlagentexte aus den Kulturwissenschaften 1 Zur Ästhetik des sozialen Raumes, Architekturen. Bielefeld: transcript.
- Hauser, Susanne. 2013. Architekturwissen Grundlagentexte aus den Kulturwissenschaften 2 Zur Logistik des sozialen Raumes, Architekturen. Bielefeld: transcript.
- Hildebrand, Linda. 2014. Strategic Investment of Embodied Energy during the Architectural Planning Process.
- Hopp, Joachim. 2004. „Materialrecycling: Recycling als Planungskonzept.“ *Bauwelt* 95 (8):10-12.
- Kloft, Harald. 1998. Untersuchungen zu den Material- und Energieströmen im Wohnungsbau ; Hauptbd.
- Knaack, Ulrich, Thomas Auer, Linda Hildebrand, and Marcel Bilow. 2011. *Imagine 05 – Energy*. Edited by Ulrich Knaack, Tillman Klein and Marcel Bilow. Vol. 05, *Imagine*. Rotterdam: 010 Publisher.
- König, Holger. 2009. *Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung : Grundlagen, Berechnung, Planungswerkzeuge*. 1. Aufl.. ed. München: Inst. für Int. Architektur-Dok.
- McHale, John, and Alex Kitnick. 2011. *The expendable reader : articles on art, architecture, design, and media (1951-79)*, GSAPP sourcebooks series. New York: GSAPP Books, an imprint of the Graduate School of Architecture, Planning, and Preservation, Columbia University.
- Moravánszky, Ákos, and Katalin M. Gyöngy. 2003. *Architekturtheorie im 20. Jahrhundert eine kritische Anthologie*. Wien [u.a.]%: Springer.
- Nerdinger, Winfried, and Werner Oechslin. 2012. *Geschichte macht Architektur*. München [u.a.]: Prestel.
- Riegl, Alois. 1996. *Gesammelte Aufsätze, Klassische Texte der Wiener Schule der Kunstgeschichte : Abteilung 1*, Alois Riegl. Wien: WUV-Univ.-Verl.
- Ritter, Frank. 2011. *Lebensdauer von Bauteilen und Bauelementen*. 1. Aufl. ed. Darmstadt: Inst. für Massivbau.
- Rossi, Aldo, and Aldo Rossi. 1973. *Die Architektur der Stadt*. Düsseldorf: Bertelsmann Fachverl.
- Roth, von Carolin, and Carolin Roth. 2011. „Lebenszyklusanalyse von Baukonstruktionen unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten.“ In. Darmstadt: Inst. für Massivbau.
- Ruby, Ilka. 2010. *Re-inventing construction*. Berlin: Ruby.
- Ruby, Ilka, Andreas Ruby, and Nathalie Janson. 2014. *The economy of sustainable construction*. Berlin: Ruby Press.
- Ruhl, Carsten. 2011. *Mythos Monument urbane Strategien in Architektur und Kunst seit 1945*, Urban Studies. Bielefeld: transcript.

- Rykwert, Joseph. 2005. Adams Haus im Paradies die Urhütte von der Antike bis Le Corbusier. Berlin: Gebr. Mann.
- Samida, Stefanie. 2014. Handbuch materielle Kultur Bedeutungen, Konzepte, Disziplinen. Darmstadt Wiss. Buchgesellschaft: [s.n.].
- Schoper, Tom. 2010. Zur Identität von Architektur vier zentrale Konzeptionen architektonischer Gestaltung, Architekturen. Bielefeld: transcript.
- Schütze, Thorsten, and Wolfgang Willkomm. 2000. Wiederverwendung und Recycling im Hochbau. 1. überarb. Aufl., Stand 03/2000 ed. Wiesbaden: Staatl. Hochbauverwaltung des Landes Hessen.
- Seemann, Axel, and Axel Seemann. 2003. Entwicklung integrierter Rückbau- und Recyclingkonzepte für Gebäude. Aachen: Shaker.
- Semper, Gottfried. 2008. Gesammelte Schriften ; Bd. 2. Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten. Edited by Henrik Karge. Nachdr. der Ausg. Frankfurt, M., Verl. für Kunst und Wiss., 1860 ed. Hildesheim [u.a.]: Olms-Weidmann.
- Smithson, Alison and Peter. 1960. „Fix.“ The Architectural Review (128).
- Ungers, Oswald M., Florian Hertweck, and UAA Ungers Archiv für Architekturwissenschaft. 2013. The city in the city Berlin ; a green archipelago ; a manifesto (1977). Zürich: Müller.
- Venturi, Robert, Denise Scott Brown, and Steven Izenour. 2007. Lernen von Las Vegas zur Ikonographie und Architektursymbolik der Geschäftsstadt. 2. Aufl. [Nachdr.] ed, Bauwelt-Fundamente. Gütersloh [u.a.]: Bertelsmann Fachzeitschriften [u.a.].
- Wallbaum, Holger, Susanne Kytzia, Samuel Kellenberger, Holger Wallbaum, Susanne Kytzia, and Samuel Kellenberger. 2011. Nachhaltig Bauen. Zürich: vdf.
- Wigley, Mark. 1999. „The architectural cult of synchronisation.“ The Journal of Architecture 4,4:409-435. doi: 10.1080/136023699373783.
- Wohlleben, Marion. 1990. „Riegl und die Moderne: Gedanken zum Verhältnis von Alterswert und Neuem Bauen.“ Unsere Kunstdenkmäler: Mitteilungsblatt für die Mitglieder der Gesellschaft für Schweizerische Kunstgeschichte 41 (1990) (Heft 1).

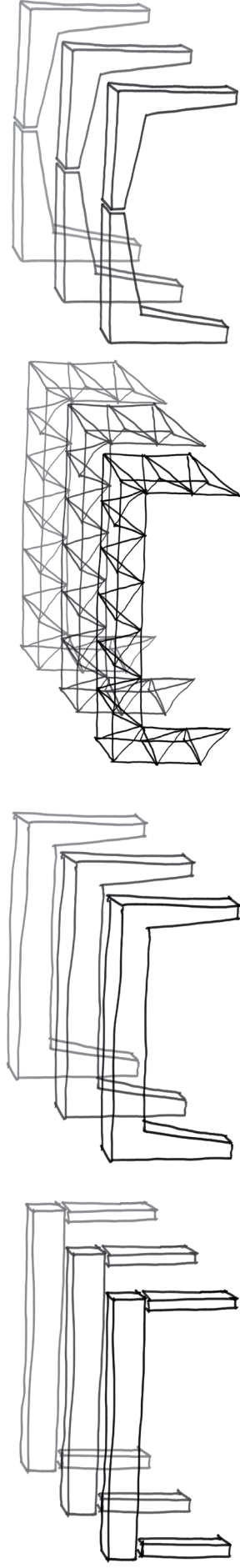
Wissenschaftlicher Werdegang

- 1990 - 99 ARCHITEKTURSTUDIUM AN DER TU DARMSTADT.
DIPLOM BEI PROF. CARL FINGERHUTH.
- 1994 - 95 ERHALT EINES DAAD-STIPENDIUMS FÜR EINEN 1-JÄHRIGEN
STUDIENAUFENTHALT AN DER ROYAL ACADEMY OF FINE
ARTS IN KOPENHAGEN / DÄNEMARK.
- 2001 - 03 AUFBAUSTUDIUM AN DER STÄDELSCHULE, HOCHSCHULE FÜR
BILDENDE KUNST, FRANKFURT AM MAIN IN DER MEISTER-
KLASSE VON PROF. BEN VAN BERKEL.
- 2002 - 03 LEHRAUFTRAG AN DER TU DARMSTADT AM FACHGEBIET
ENTWERFEN UND WOHNUNGSBAU BEI PROF. GÜNTER PFEI-
FER
- 2006 - 11 WISSENSCHAFTLICHER MITARBEITER AM FACHBEREICH AR-
CHITEKTUR DER TU DARMSTADT BEI PROF. JO EISELE.
KONZEPTION, MITARBEIT UND SELBSTSTÄNDIGE BETREUUNG
VON LEHRVERANSTALTUNGEN.
- 2011 - 13 ‚P881 - NACHHALTIGE BÜRO- UND VERWALTUNGSGEBÄUDE
IN STAHL UND STAHLVERBUNDBAUWEISE‘ GEFÖRDERT VON
DER FOSTA E.V. IN ZUSAMMENARBEIT MIT TU MÜNCHEN,
TU DRESDEN, TU KAISERSLAUTERN, RWTH AACHEN
- 2013 - 16 WISSENSCHAFTLICHER MITARBEITER AM FACHBEREICH
ARCHITEKTUR DER TU DARMSTADT BEI PROF. WOLFGANG
LORCH
BETREUUNG VON FORSCHUNGSPROJEKTEN, SOWIE MITAR-
BEIT IN DER LEHRE
- 2013 - 15 ‚ETA - ENERGIEEFFIZIENZ TECHNOLOGIE UND ANWEN-
DUNGSZENTRUM‘ – GEFÖRDERT VOM BMWi UND DEM LAND
HESSEN.
FERTIGSTELLUNG IM MÄRZ 2016
- 2015 - 16 ‚SWIVT – SIEDLUNGSBAUSTEINE FÜR BESTEHENDE WOHN-
QUARTIERE – IMPULSE ZUR VERNETZUNG ENERGIEEFFIZIEN-
TER TECHNOLOGIEN‘ – GEFÖRDERT VOM BMWi IM RAH-
MEN DES FÖRDERPROGRAMMS ENEff-STADT.
- 2015/16 LEHRAUFTRAG AN DER HOCHSCHULE DARMSTADT BEI PROF.
ANKE MENSING

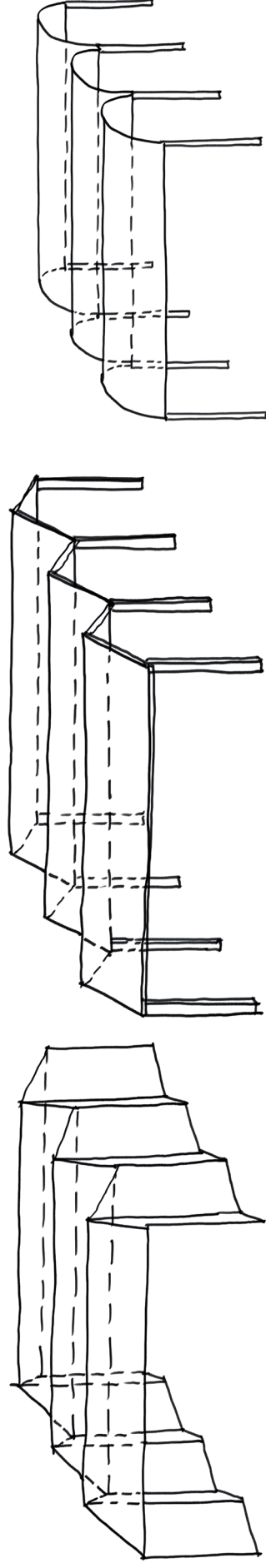
Anhang

Baukasten

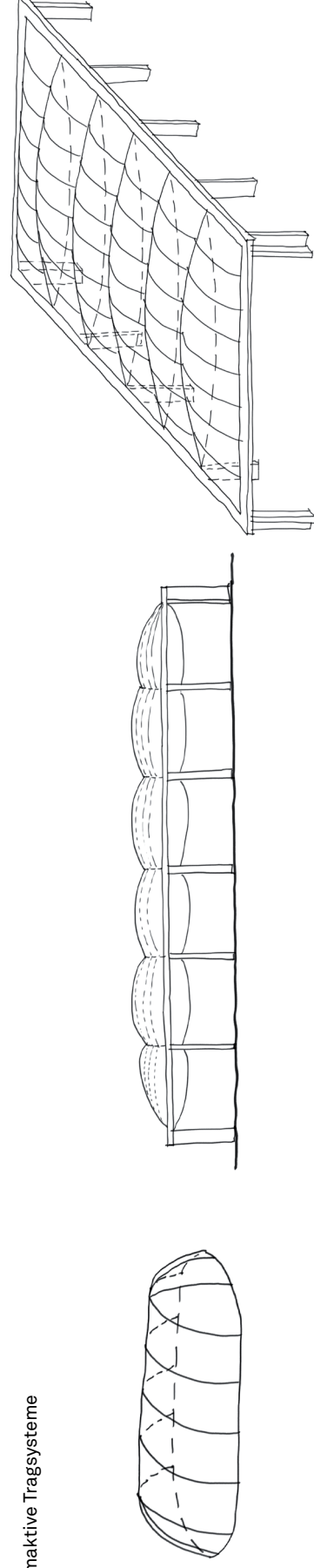
Schnittaktive Tragsysteme



Flächenaktive Tragsysteme

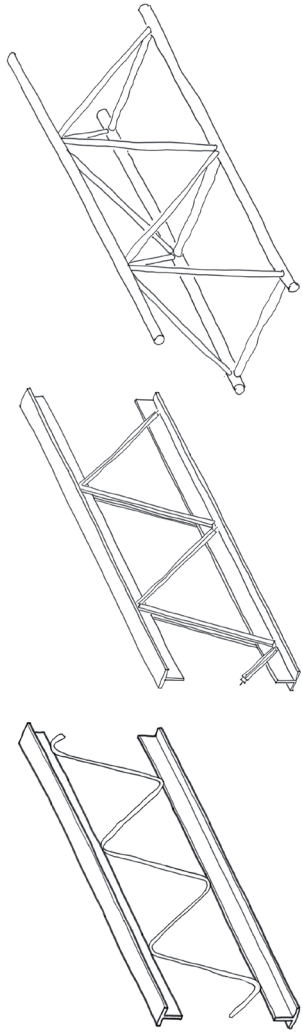
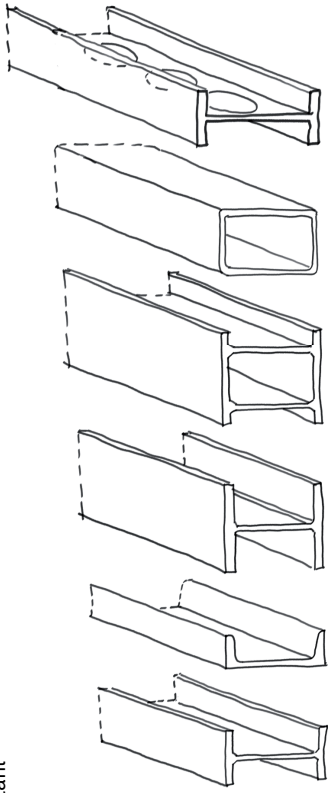


Formaktive Tragsysteme

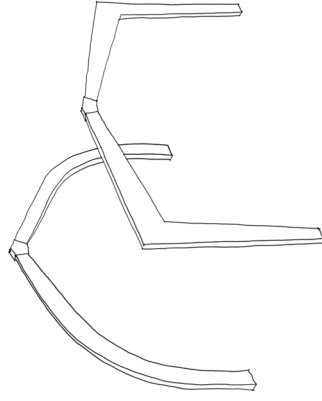
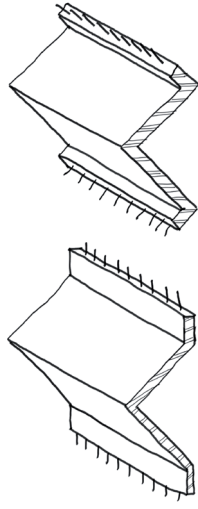
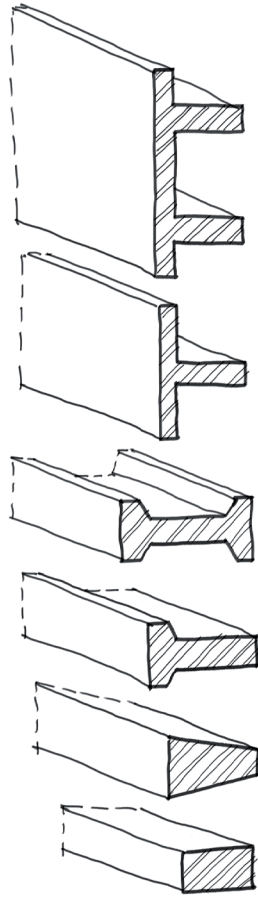


BAUKASTEN

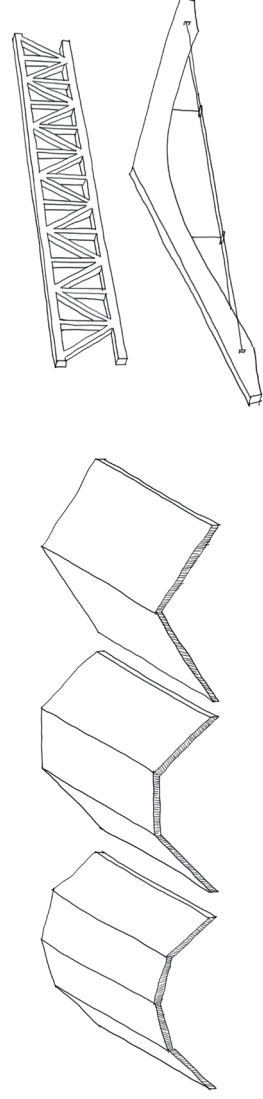
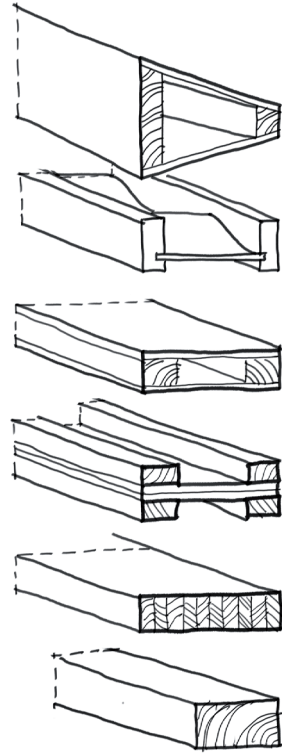
Stahl

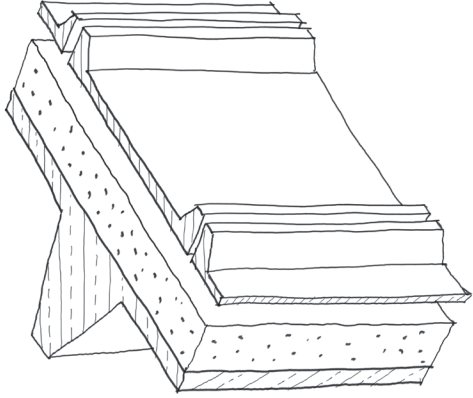


Stahlbeton

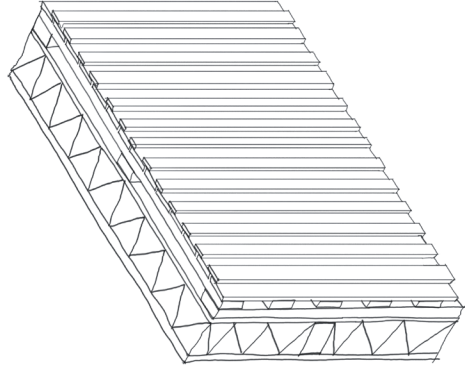


Holz

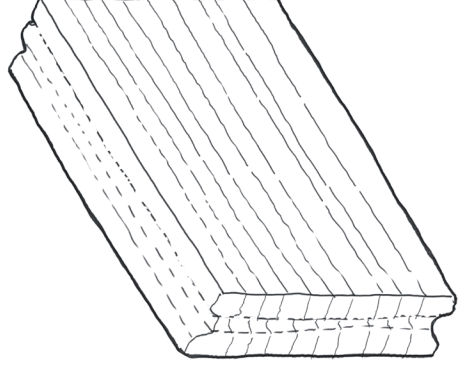




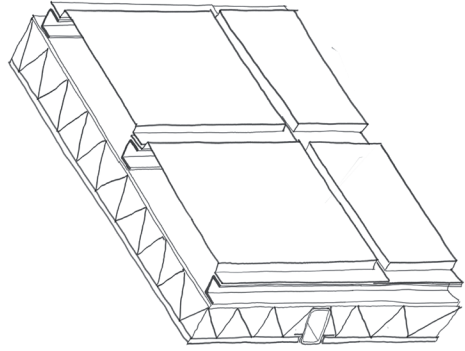
Stahlbetonfertigteile



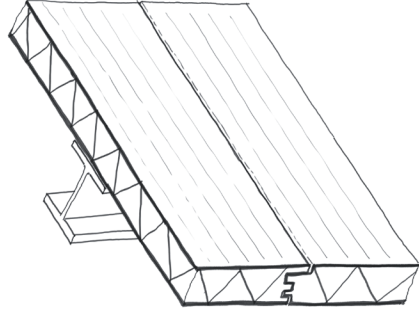
Holzverschalung



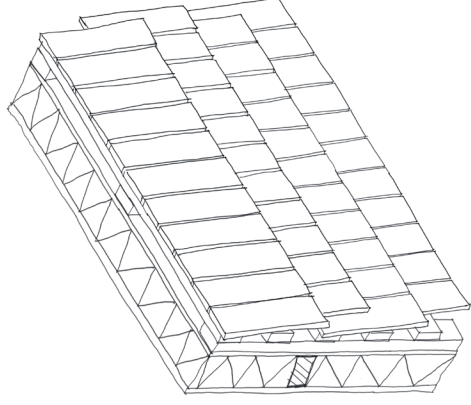
Lehmbausteine



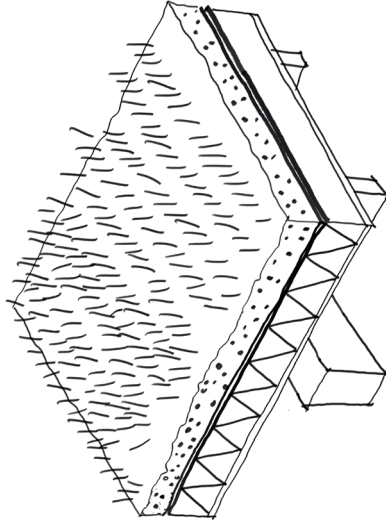
Metallkassetten



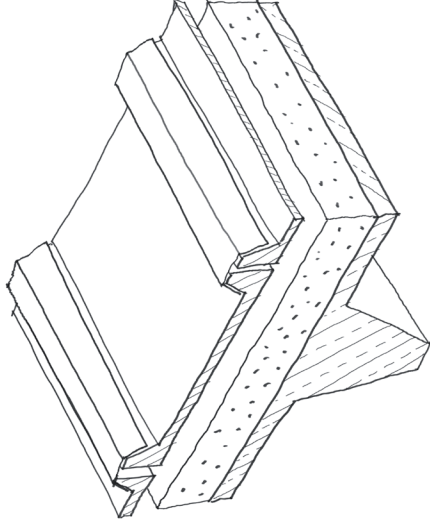
Sandwichelemente



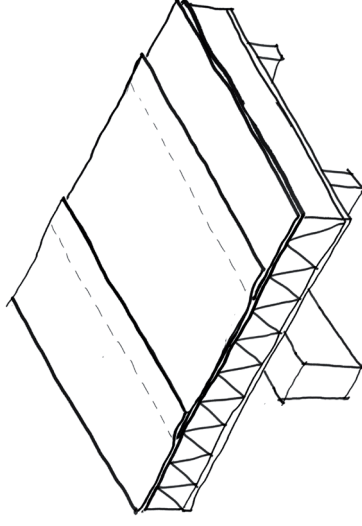
Schindeln



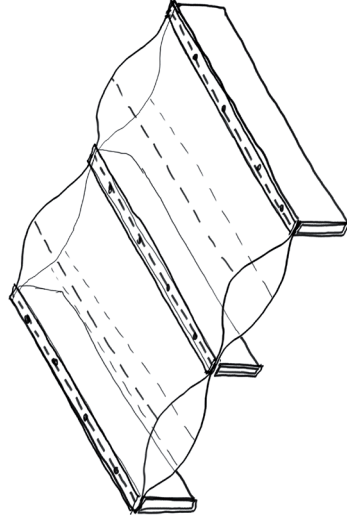
begrüntes Dach



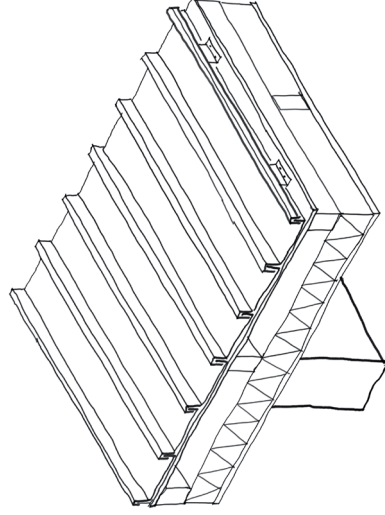
Stahlbetonfertigteile



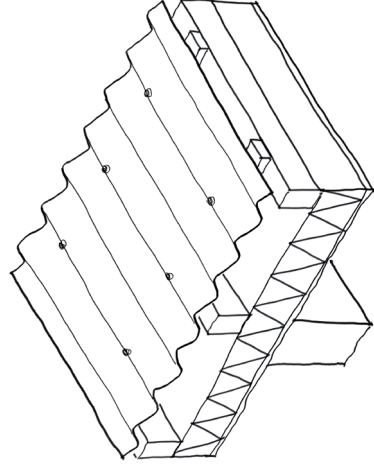
Foliendach



Folienkissen



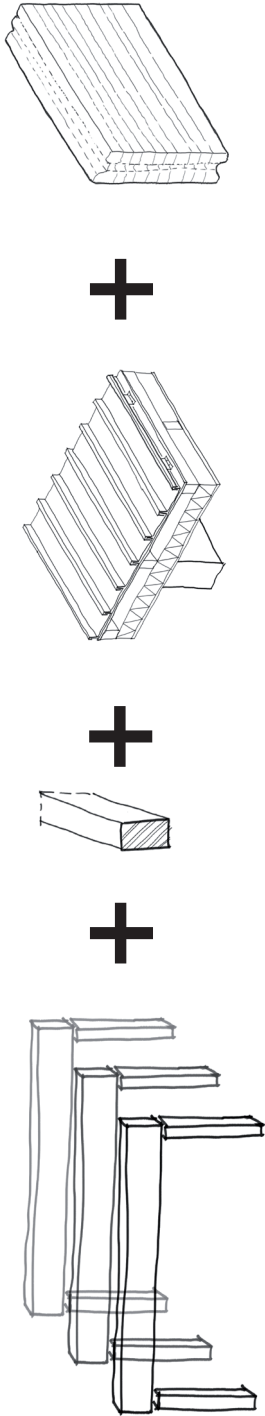
Stehfalzdeckung



Wellblechdach

Ergänzende Fallstudien

Lehmbauhalle

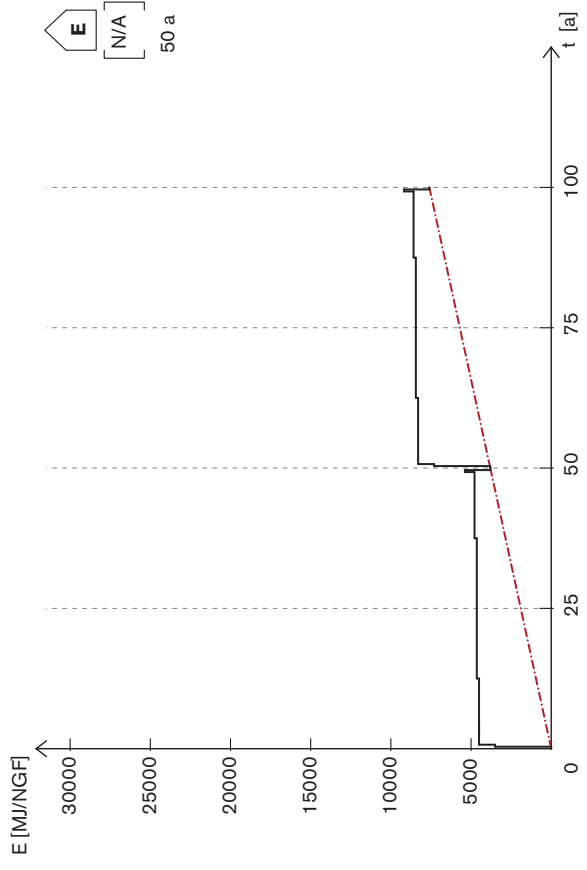
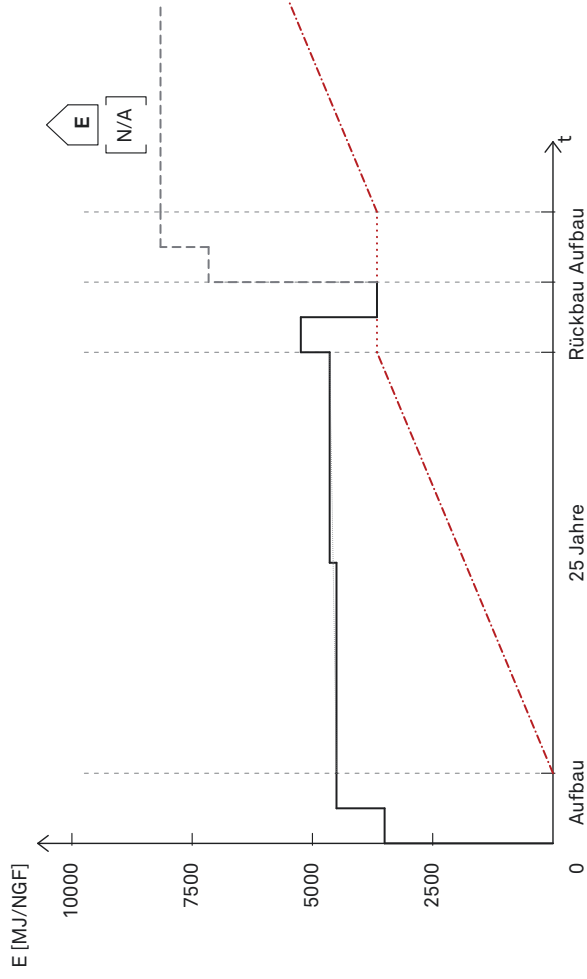


Fallbeispiel E- Lehmziegelhalle

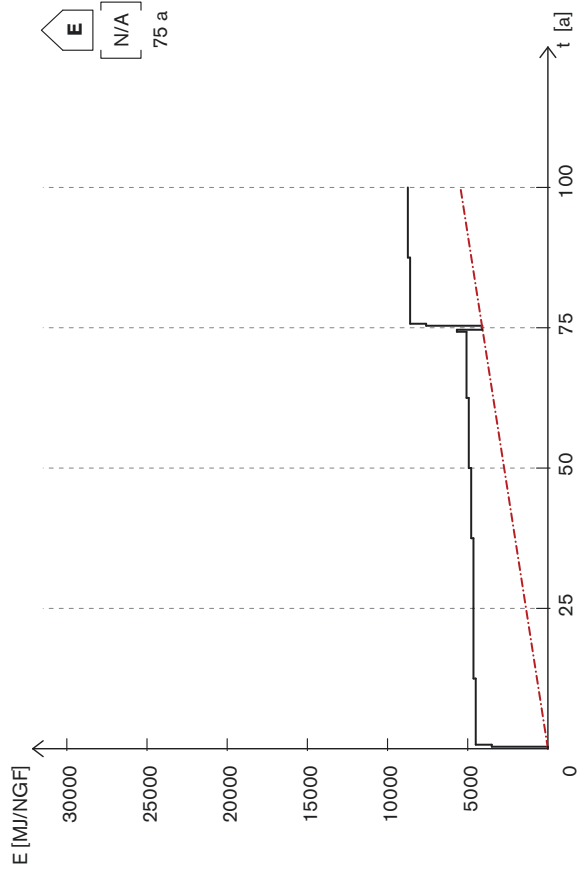
Bauteilkomponenten m2/ NGF	%	Pges H [MJ]	Pges E [MJ]	Summe [kg]	Recycling- gruppen	Rückbau- faktor	Instandset- zungs- zeiträume	Ersatzzeit räume
TW I	18,15	540,14	11,52	87,92	RI	D	IP75	E150
W_A	24,38	725,46	33,09	594,95	E		IP25	E50
D_A	12,72	378,43	-147,53	4	RI	A	IP25	E75
D_B	22,71	675,93	-259,86	33	E		IP25	E75
D_C	22,04	655,93	-357,94	20,24	E		IP25	E75
GESAMT	100,00	2.975,88	-720,73	740,13				

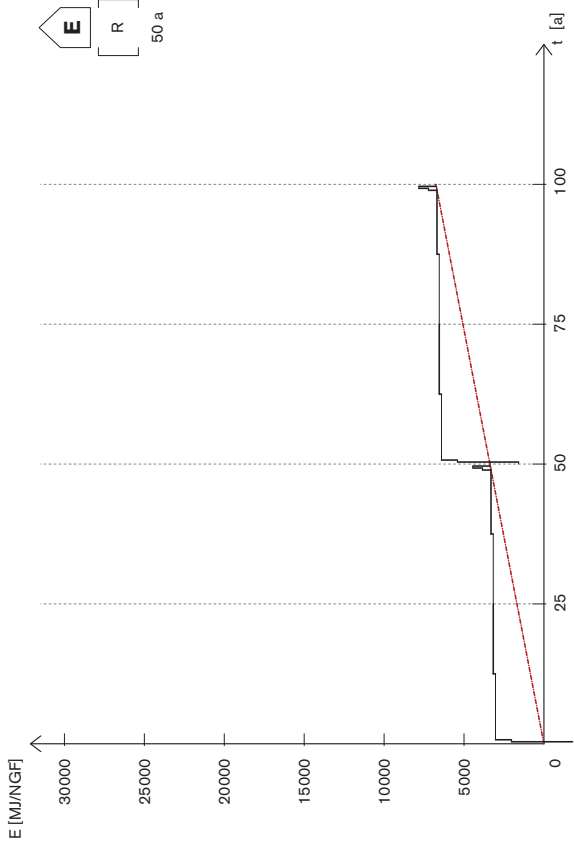
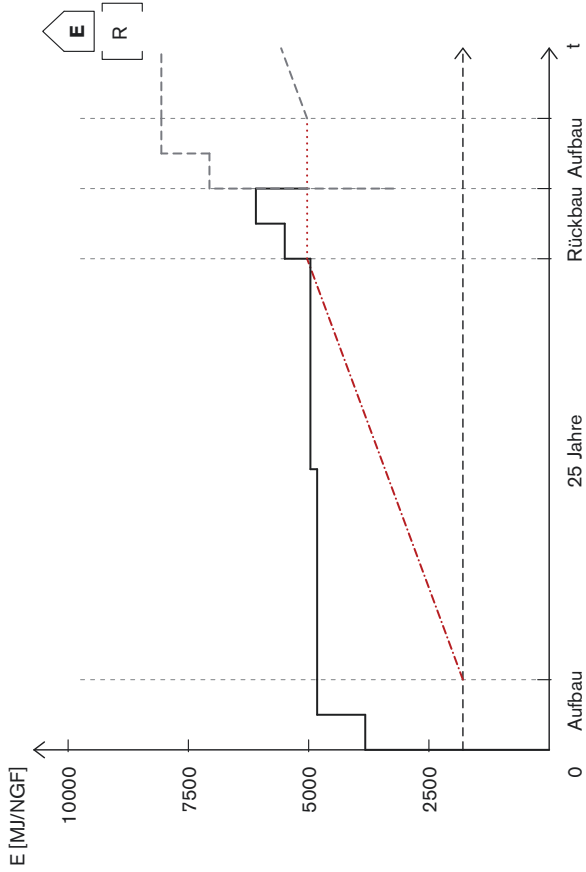
Halle aus StB-Tragwerk und Lehmziegelwänden			Wand			E	
	Schicht	d in [mm]	%	Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]
1	Lehmstein	450,00	100,00	658,46	30,03	688,49	540,00
	Beton-Stütze 45cmx45cmx10,00m					6.338,67	
2	Bewehrungsstahl		2,00	3.595,80		3.595,80	317,83
3	Transportbeton C25/30		98,00	2.481,80	261,07	2.742,87	4.693,34
	Bauteilkomponenten / m2			Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]
W_TW I				6.077,60	261,07	6.338,67	5.011,27
W_A				658,46	30,03	688,49	540,00
	Bauteilkomponenten / 62,8 m2						
W_TW I				6.077,60	261,07	6.338,67	5.011,27
W_A				41.351,29	1.885,88	43.237,17	33.912,00

Halle aus StB-Tragwerk und Lehmziegelwänden						Dach			E	
		d in [mm]	%	Pges H [MJ]	Pges E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]		Bauteilkomponente	
1	Stahl Feinblech (0,3-3,0mm)	0,50	100,00	119,66	-	46,75	72,91	3,92	C	
2	Dachbahnen EPDM	1,00	100,00	105,84	-	25,15	81,69	0,95	C	
3	Spanplatte Eurospan - Egger	20,00	100,00	365,08	-	250,93	114,15	13,38	C	
4	Stahl, warmgewalzte Bleche (2-20mm)	60,00	1,00	142,21	-	55,44	86,77	0,94	A	
5	Stahl, warmgewalzte Bleche (2-20mm)	120,00	0,70	199,10	-	77,62	121,48	2,82	A	
6	Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	120,00	99,30	273,43	3,65	277,08	17,34		B	
7	OSB Eurostrand - Egger	20,00	100,00	336,19	-	238,02	98,17	12,30	B	
8	Stahl Feinblech (0,3-3,0mm)	160,00	0,90	344,64	-	134,64	210,00	11,30	TWII	
	Betonbinder 130cmx40cm10,00m(halbe Länge, weil alle 6m)								TWI	
2	Bewehrungsstahl			18467		18467	1632,8		TWI	
3	Transportbeton C25/30			6243,1	656,72	6899,82	11806		TWI	
	Bauteilkomponenten / m2			Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]			
D_TW I				24.710,10	656,72	25.366,82	13.438,80			
D_A				341,31	-	133,06	208,25	3,76		
D_B				609,62	-	234,37	375,25	29,64		
D_C				591,58	-	322,83	268,75	18,25		
	Bauteilkomponenten / 63,2 m2									
D_TW I				24.710,10	656,72	25.366,82	13.438,80			
D_A				21.570,48	-	8.409,39	13.161,08	237,63		
D_B				38.527,98	-	14.812,18	23.715,80	1.873,25		
D_C				37.387,86	-	20.402,86	16.985,00	1.153,40		

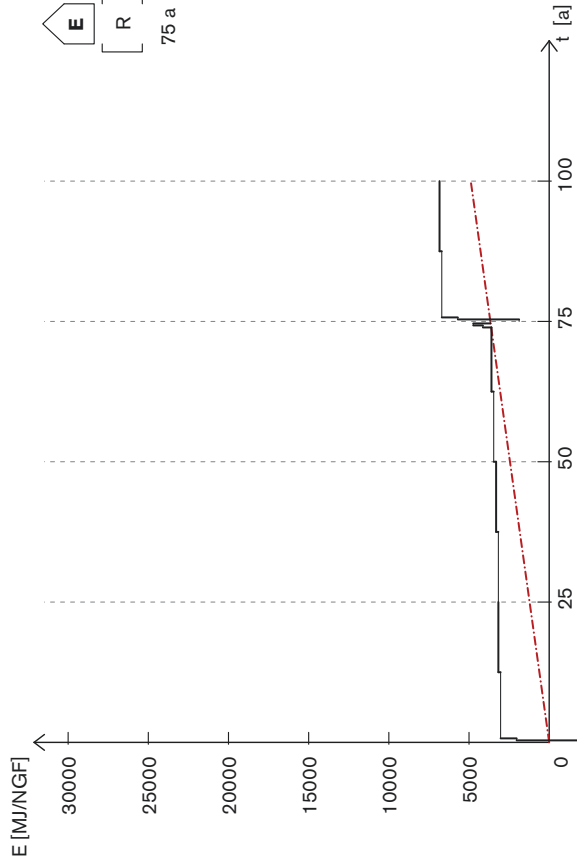


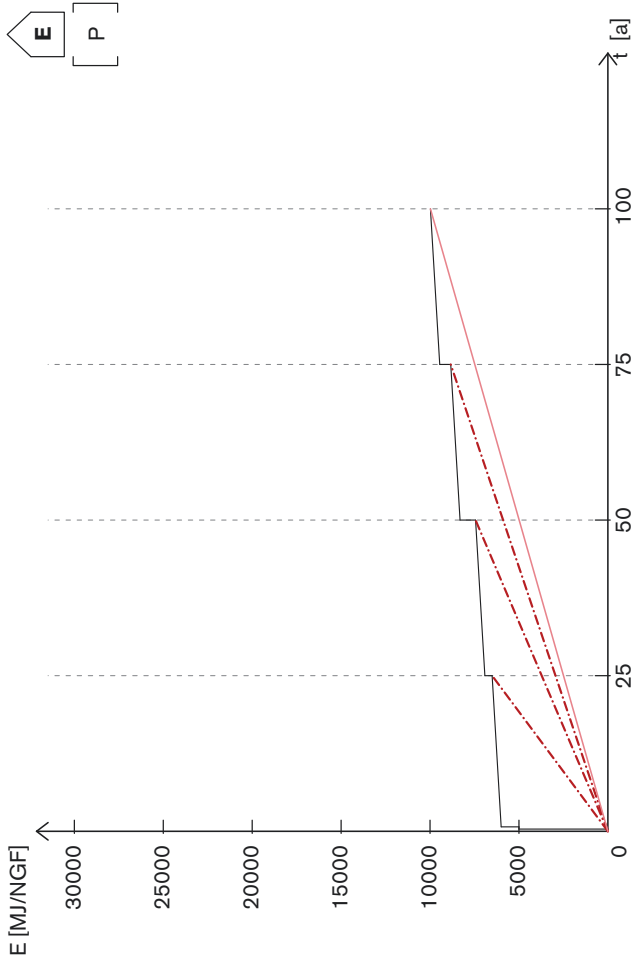
[N/A]	Bezeichnung	Beschreibung	E [N/A]		
			Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	2.990,00
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	-	1000 MJ/NGFa
B	Bn	Gesamter Aufwand für minimale Instandhaltung in tn	eigene Annahme	4% PgesH	119,60
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	4,78
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	tn	5/50/75/100/125/150/17
	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	60% A4-5	600 MJ/NGFa
C	C3	Entsorgung (Baustoffe)	eLCA	PgesE	-730
	D				
	E150	Ersatz nach 150 Jahren	eLCA	PgesH(E150)	540,00
	E75		eLCA	PgesH(E75)	1720,00
	E50		eLCA	PgesH(E50)	730,00
Q	12,5	(A1-3+A4-5+C1-2+(C3D))/tn+P			313,58
	25				159,18
	50				81,98
	75				65,98
	100				67,88
	125				61,10
	150	(A1-3+A4-5+C1-2+(C3D)+E50x2+E75)/tn+P			51,72
	175				62,10



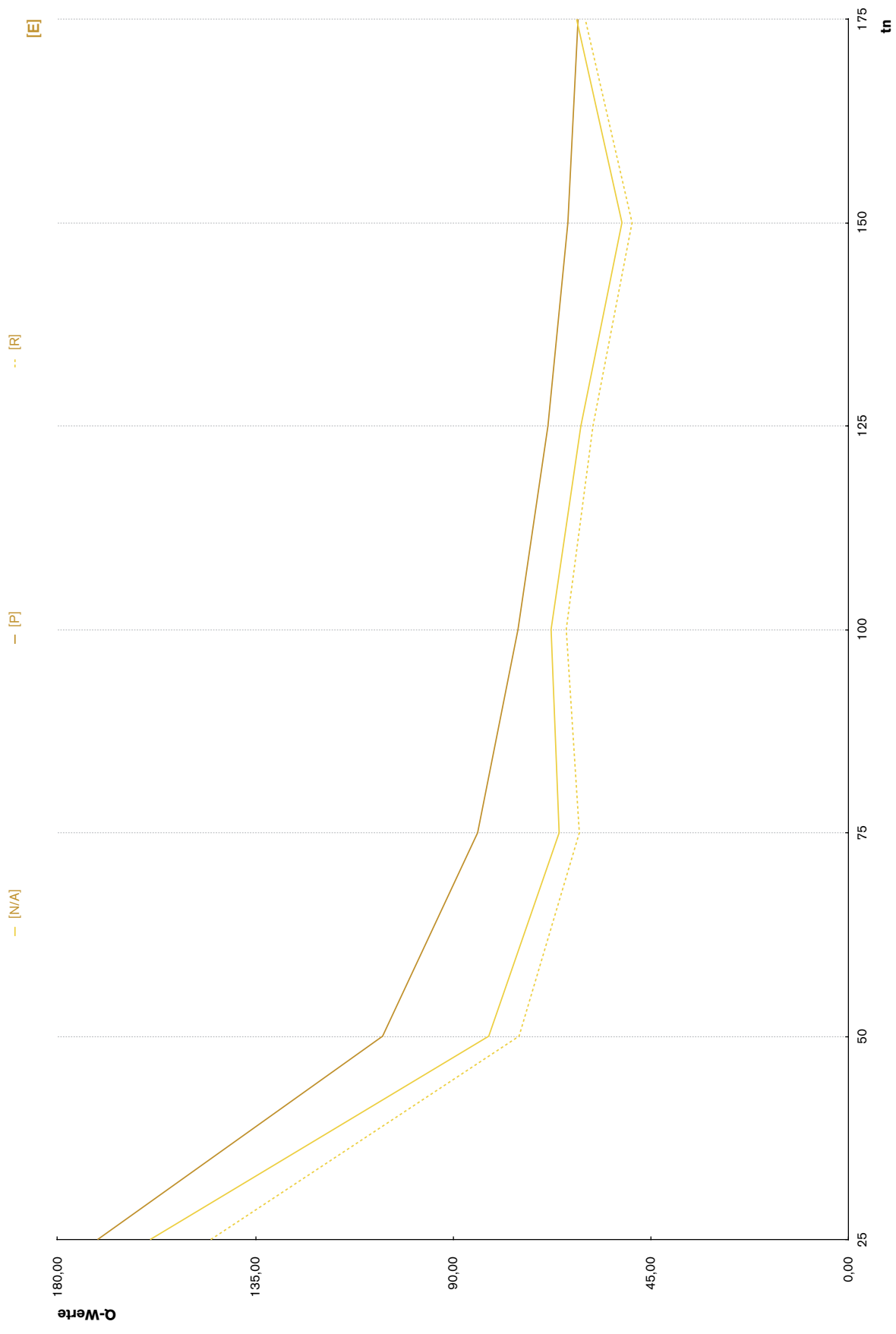


[R]	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	2.890,00
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	-	1000 MJ/NGFa
	RA(Rn)	recyceltes Material der Bauteilgruppen Rn	eLCA	PgesH(RA)	920,00
	AR	nicht recyceltes Material	eLCA	PgesH(A1-3)-PgesH(RA)	2070,00
B	Bn	Gesamter Aufwand für minimale Instandhaltung in tn	eigene Annahme	4% PgesH	119,60
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	4,78
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25 a	25/50/75/100/125/150
	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	60% A4-5	600 MJ/NGFa
C	C3	Instandsetzung von RA – dF-Werte siehe Tabelle ...	eigene Annahme	RA(RI)×0,3(dRF-D)+RA(RI)×0(dRF-A)+30%RA	438,00
	D	Entsorgung von AR	eLCA	PgesE(AR)	-590,00
	E150	Ersatz nach 150 Jahren	eLCA	PgesH(E150)	540,00
	E75		eLCA	PgesH(E75)	1720,00
D	E50		eLCA	PgesH(E50)	730,00
	tn=12,5				286,22
	tn=25				145,50
	tn=50				75,14
	tn=75				61,42
	tn=100				64,46
	tn=125				58,37
	tn=150				49,44
	tn=175				60,14

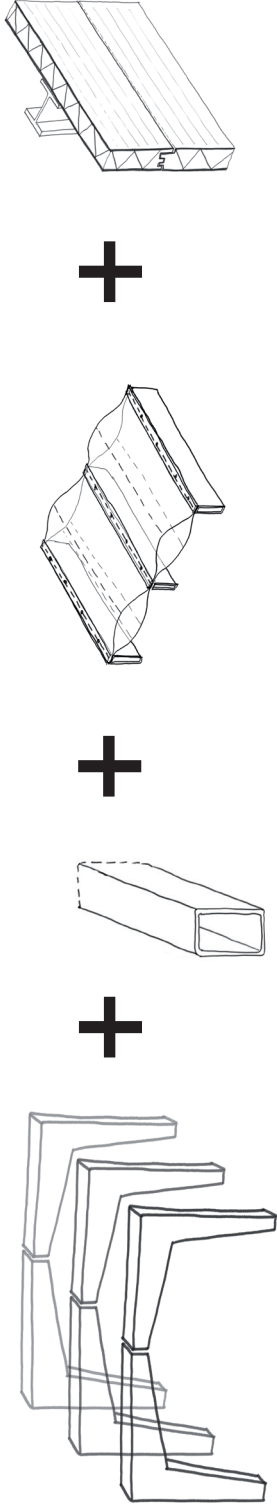




E [P]		E [P]			
[P]	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	2.990,00
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	-	1000 MJ/NGFa
B	Bn	Gesamter Aufwand für Instandhaltung in tn	eigene Annahme	10% PgesH	299,00
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	11,96
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25-125	25/50/75/100/125/150
	IP50	Instandsetzungspaket nach 50 Jahren (Fassade/Dach)	eigene Annahme	IP25=30%PgesG von IP25	735,00
	IP75	Instandsetzungspaket nach 75 Jahren (Tragwerk)	eigene Annahme	IP75=30%PgesG von IP75	162,00
Q	tn=12,5				331,16
	tn=25				171,56
	tn=50				106,46
	tn=75				84,76
	tn=100				75,53
	tn=125				68,70
	tn=150				64,14
	tn=175				61,81



Industriezelt

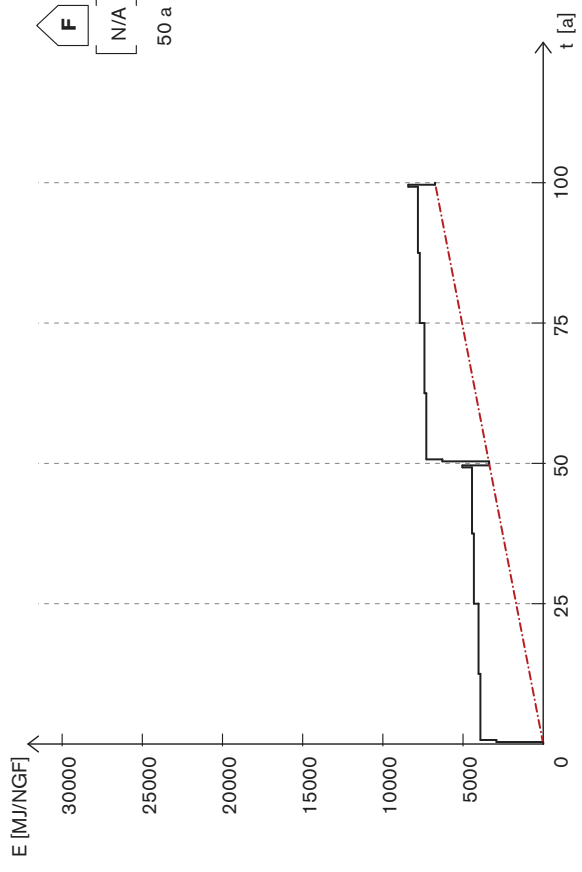
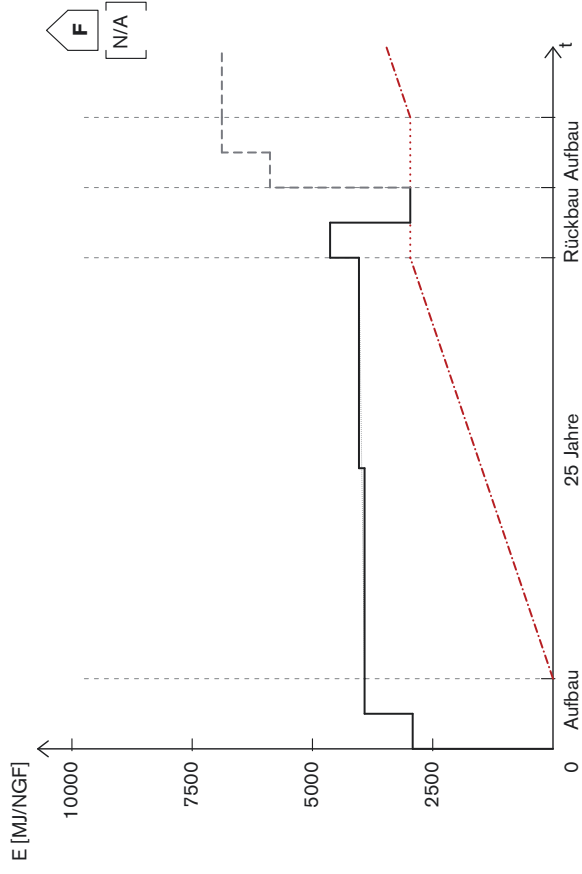


Fallbeispiel F – Industriezelt

	Bauteilkomponenten m2/ NGF	%	Pges H [MJ]	Pges E [MJ]	Summe [kg]	Recycling- gruppe	Rückbau- faktor	Instandse- tzungs- zeiträume	Ersatzzeit- räume
	TW_I	51,30	1.794,32	-538,04	6,98	RI	A	IP25	E75
	W_A	44,46	1.555,15	-1024,58	29,03	E		IP25	E75
	D_A	0,00	-00	0,00	0				
	D_B	0,00	-00	0,00	0				
	D_C	4,25	148,51	-48,18	1,83	E			E25
	GESAMT	100,00	3.497,97	-1610,79	37,84				

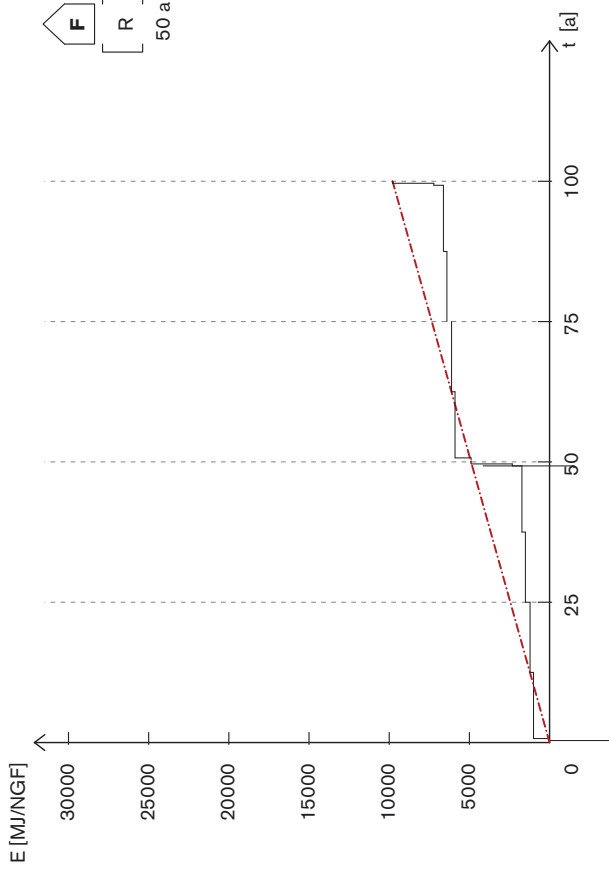
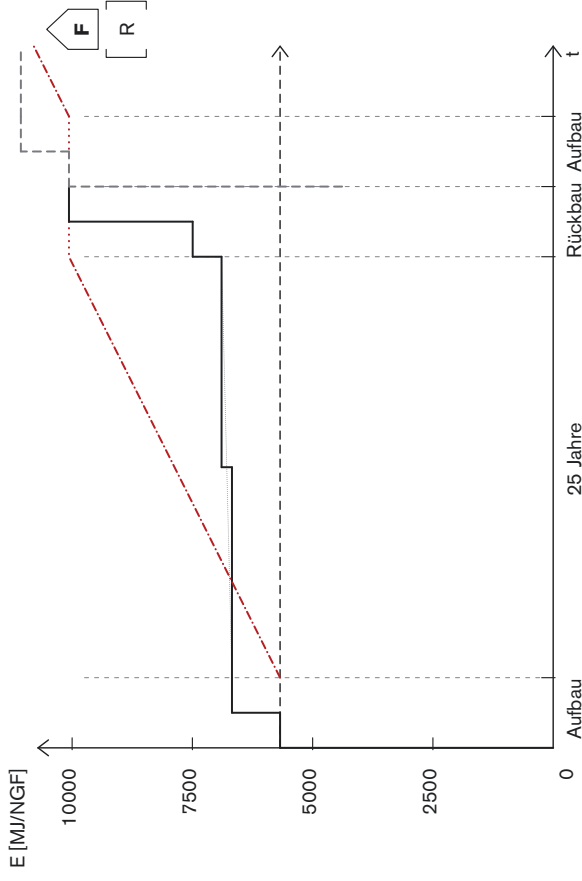
Industriezelt aus dem Katalog mit Sandwichpaneelen und Folienkissendach						Wand		F
	Schicht	d in [mm]	%	Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]	
1	Sandwichelement MIWO - Durchschnitt - Thyssen Krupp	100,00	2,00	486,24	- 97,58	388,66	20,36	
2	Aluminium Profil (2005)			925,28	- 832,37	92,91	5,39	
								A
								A
	Aluminiumrahmen - Stützen							
3	Aluminium Profil (2005)	11,00	100,00	68,184	- 61,337,00	6,847,00	397,77	TWI
	Bauteilkomponenten / m2							
	W_TW I			Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]	
	W_A			68,184,00	- 61,337,00	6,847,00	397,77	
				1,411,52	- 929,95	481,57	26,35	
	Bauteilkomponenten / 62,6 m2							
	W_TW I			68,184,00	- 61,337,00	6,847,00	397,77	
	W_A			88,643,46	- 58,400,86	30,242,60	1,654,78	

Industriezelt aus dem Katalog mit Sandwichpaneelen und Folienkissendach						Dach		F
		d in [mm]	%	Pges H [MJ]	Pges E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]	
1	Folienkissen	1,50	100,00	133,94	- 43,45	90,49	1,65	
2	Aluträger			34,092	- 30,668	3424	198,89	
								TWI
	Bauteilkomponenten / m2							
	D_TW I			Pe H [MJ]	Pe E [MJ]	Summe [MJ]	Summe [kg]	
	D_A			34,092,00	- 30,668,00	3,424,00	198,89	
	D_B			-00	-00	-00	-00	
	D_C			-00	-00	-00	-00	
				133,94	- 43,45	90,49	1,65	
	Bauteilkomponenten / 63,2 m2							
	D_TW I			34,092,00	- 30,668,00	3,424,00	198,89	
	D_A			-00	-00	-00	-00	
	D_B			-00	-00	-00	-00	
	D_C			8,485,01	- 2,746,04	5,718,97	104,28	

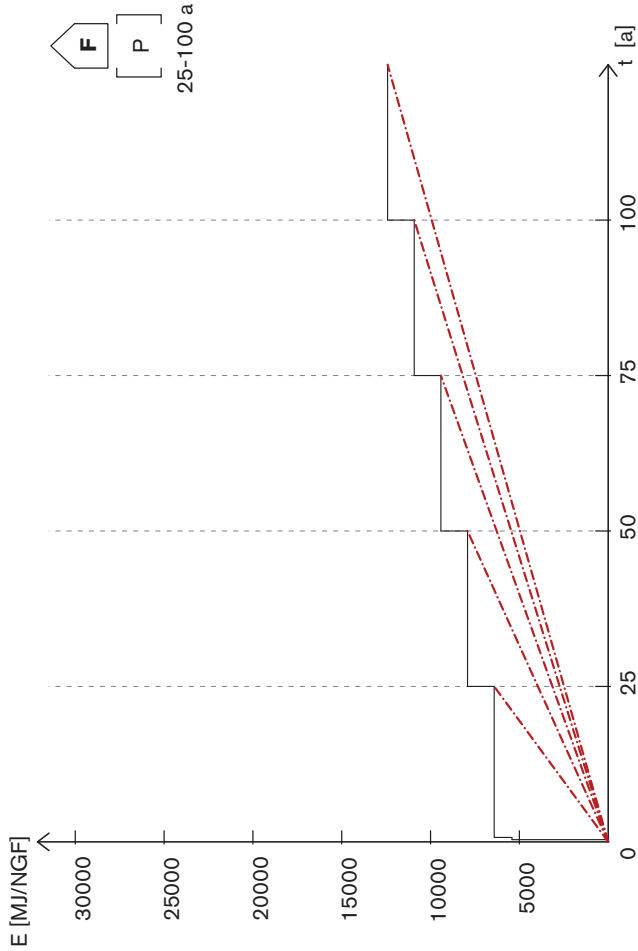


F [N/A]

[N/A]	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	P_{gesH}	3.497,97
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	-	1000 MJ/NGFa
B	Bn	Gesamter Aufwand für minimale Instandhaltung in tn	eigene Annahme	$4\% P_{gesH}$	139,92
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	5,60
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	tn	25-175
	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	$60\% A4-5$	600 MJ/NGFa
C	C3	Entsorgung (Baustoffe)	eLCA	P_{gesE}	-1610,79
	D				
	E150	Ersatz nach 150 Jahren	eLCA	$P_{gesH}(E150)$	3349,46
	E75	Ersatz nach 75 Jahren	eLCA	$P_{gesH}(E75)$	
	E25	Ersatz nach 25 Jahren	eLCA	$P_{gesH}(E50)$	
Q	25	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D])/tn+P$			284,57
	25	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D])/tn+P$			145,08
	50	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D])/tn+P$			78,31
	75	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50)/tn+P$			56,05
	100	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50+E75)/tn+P$			78,42
	125	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50+E75)/tn+P$			65,04
	150	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50+E75)/tn+P$			56,12
175	$(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50+E75)/tn+P$				68,89

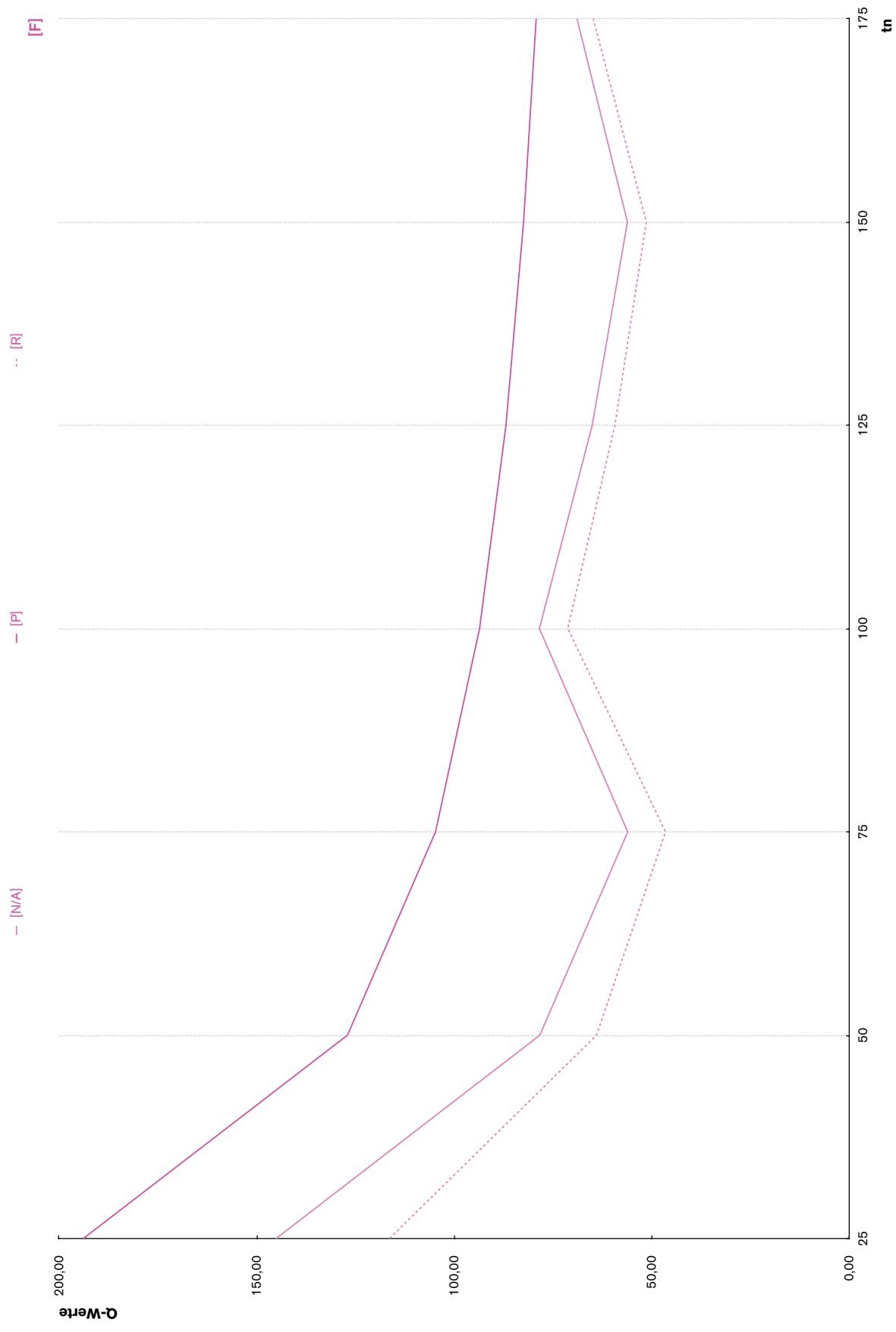


[R] E	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	3.497,97
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	-	1000 MJ/NGFa
	RA(Rn)	recyceltes Material der Bauteilgruppen Rn	eLCA	PgesH(RA)	1794,32
	AR	nicht recyceltes Material	eLCA	PgesH(A1-3)+PgesH(RA)	1703,66
	Bn	Gesamter Aufwand für minimale Instandhaltung in tn	eigene Annahme	4% PgesH	139,92
B	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	5,60
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25 a	25/50/75/100/125/150
	C1-2	Aufwand von Demontage und Transport	eigene Annahme	60% A4-5	600 MJ/NGFa
	C3	Instandsetzung von RA – RF-Werte siehe Tabelle ...	eigene Annahme	RA(RI)x 0,3 (GRF-D) + RA(RI)x 0 (GRF-A) + 30% RA	538,29
	D	Entsorgung von AR	eLCA	PgesE(AR)	-1072,75
C	E150	Ersatz nach 150 Jahren	eLCA	PgesH(E150)	3349,46
	E75		eLCA	PgesH(E75)	148,51
	E25		eLCA	PgesH(E25)	227,13
	tn=12,5	(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D])/tn+P			116,36
	tn=25	(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D])/tn+P			63,95
Q	tn=50	(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D])/tn+P			46,48
	tn=75	(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50)/tn+P			71,24
	tn=100	(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50+E75)/tn+P			59,30
	tn=125	(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50x2+E75)/tn+P			51,34
	tn=150	(A1-3+A4-5+C1-2+[C3D]+E50x2+E75)/tn+P			64,79

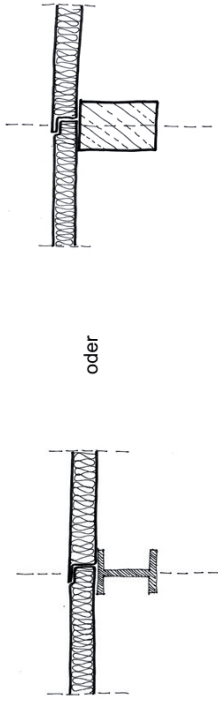


F [P]

[P]	Bezeichnung	Beschreibung	Quelle	Variable	Wert
A	A1-3	Herstellung (Baustoffe)	eLCA	PgesH	3.49797
	A4-5	Konstruktion und Transport	eigene Annahme (Pauschale)	-	1000 MJ/NGFa
B	Bn	Gesamter Aufwand für Instandhaltung in tn	eigene Annahme	10% PgesH	349,80
	P	Minimaler jährlicher Aufwand	eigene Annahme	Bn/tn	13,99
	tn	Nutzungszeitraum	eigene Annahme	25-125	12,5-175
	IP25	Instandsetzungspaket nach 25 Jahren (Fassade,Dach)	eigene Annahme	IP25=30%PgesG von IP25	1004,84
	E25	Ersatz nach 25 Jahren (Folienkissen)	eigene Annahme	PgesH(E25)	148,51
Q	tn=12,5				373,83
	tn=25				193,91
	tn=50				127,02
	tn=75				104,72
	tn=100				93,57
	tn=125				86,88
	tn=150				82,42
	tn=175				79,24



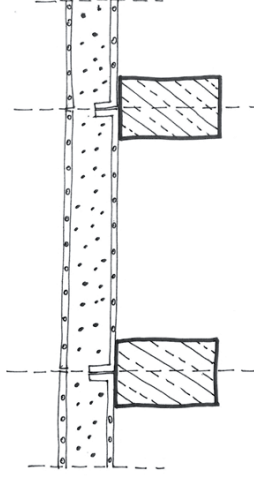
Entwurfs-Chronologie



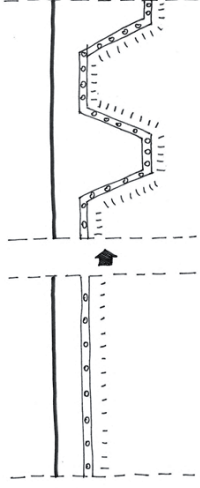
oder

A Sandwichelement aus Stahlblech und PU-Schaum, Primärtragwerk Stahl

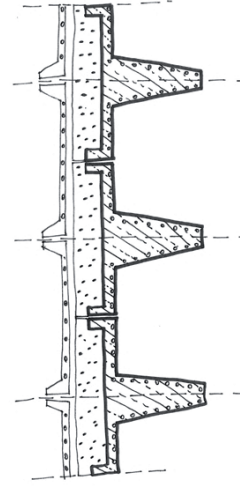
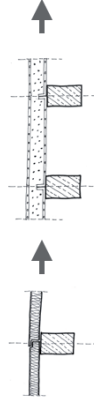
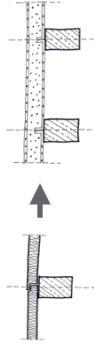
B Sandwichelement aus Stahlblech und PU-Schaum, Primärtragwerk Stahlbeton



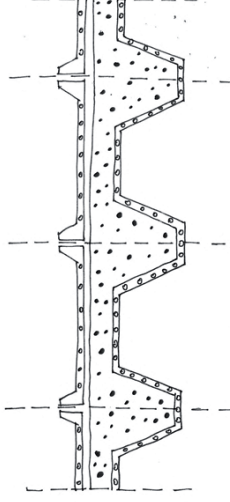
Sandwich - Element aus zweiseitig thermisch aktiver UHPC-Schale mit Mineralschaumfüllung, Primärtragwerk aus Stahlbeton



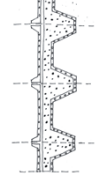
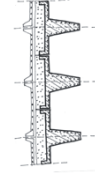
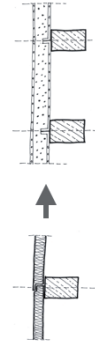
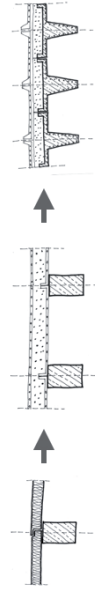
Anforderung: maximale Kühlleistung der Innenfläche
= Maximierung der innen liegenden Oberfläche



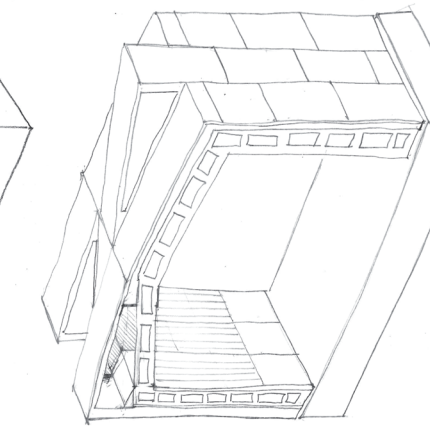
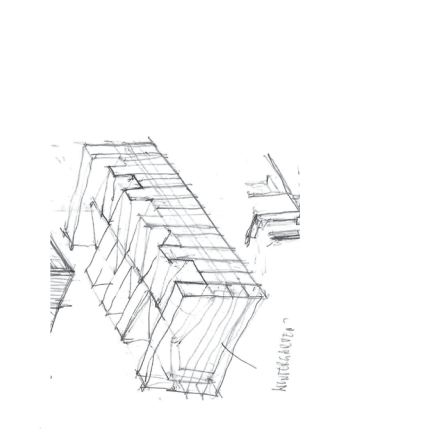
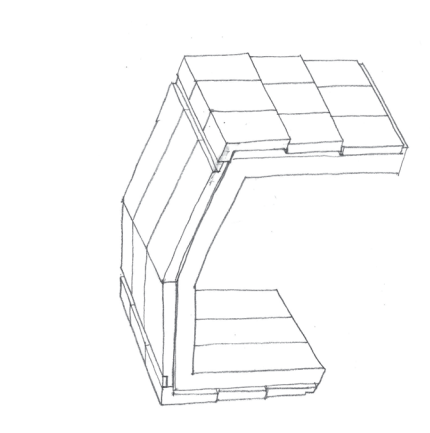
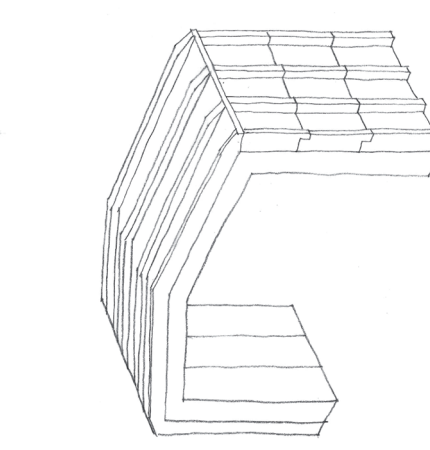
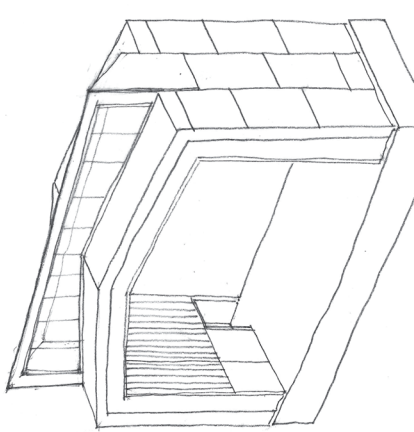
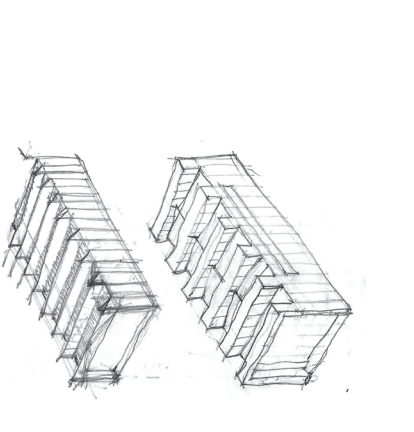
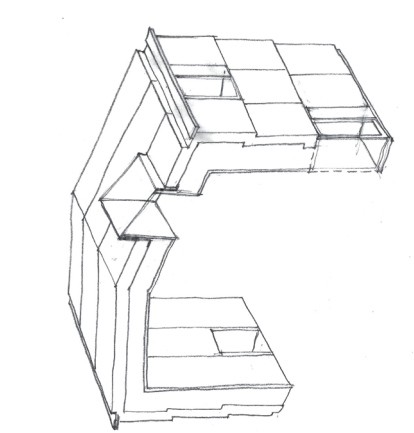
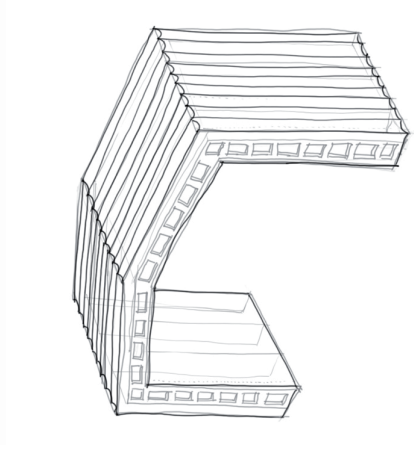
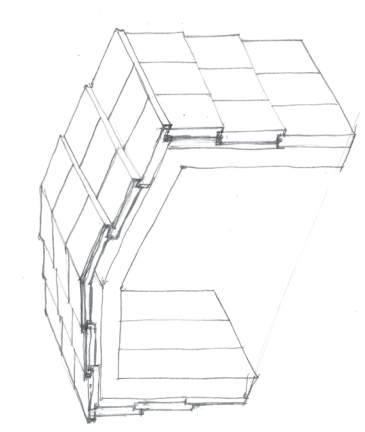
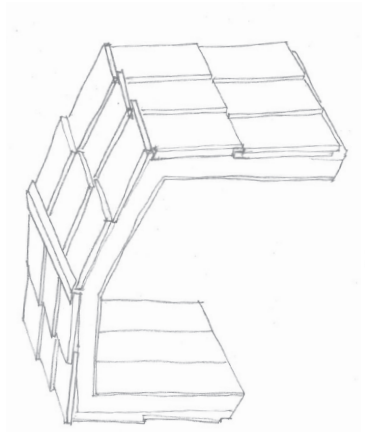
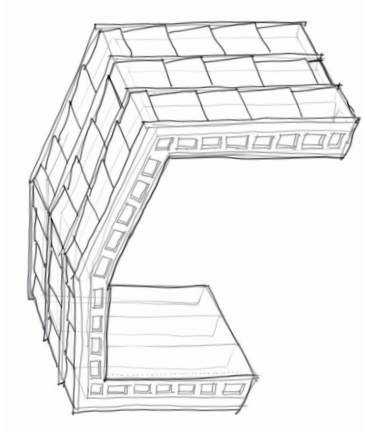
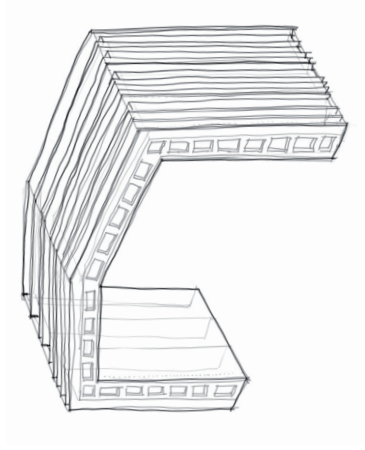
Mineralschaum auf Plattenbalken aus Stahlbeton mit thermisch aktivierter Oberfläche, hinterlüftete Aussenhülle aus thermisch aktiven UHPC-Plattenelementen

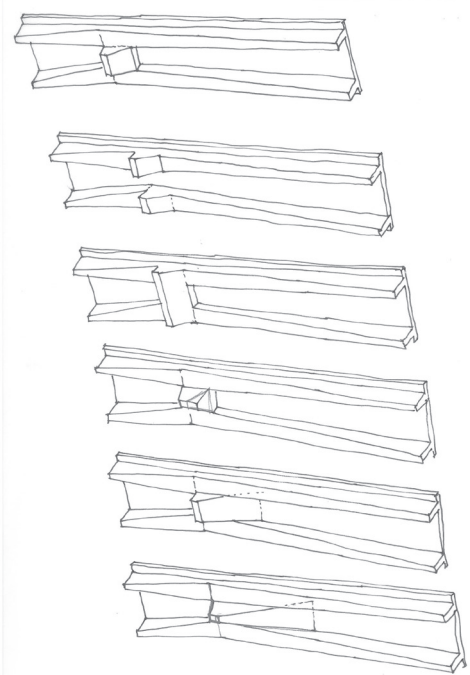
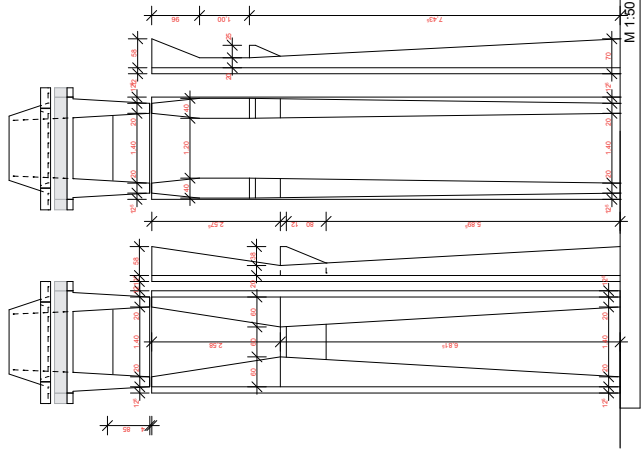
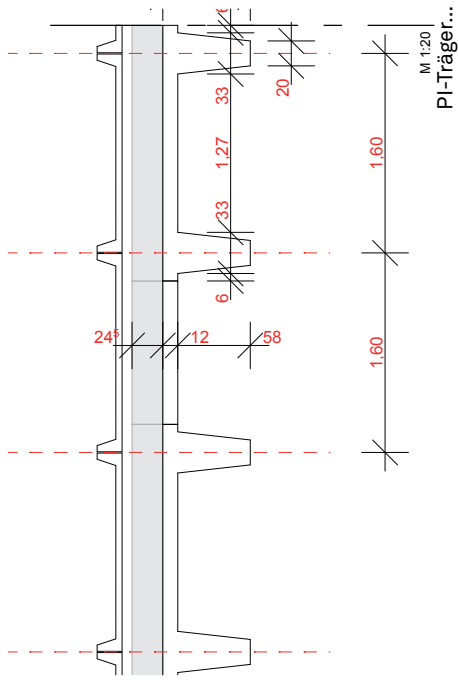
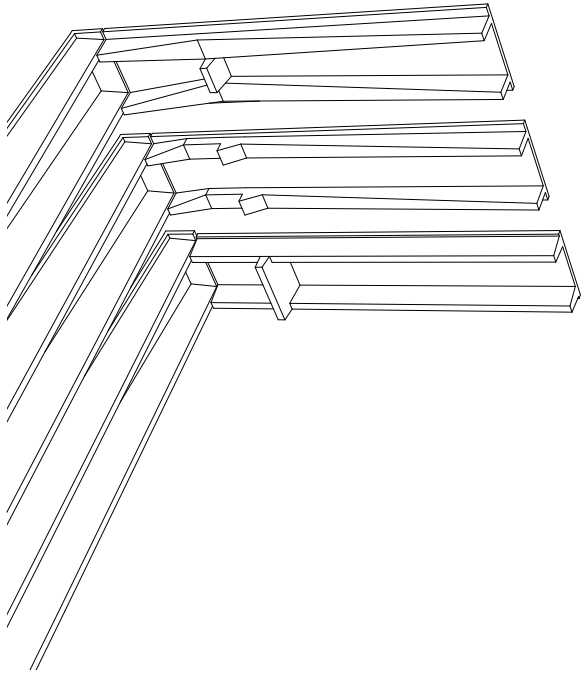


Primärtragwerk aus thermisch aktiver UHPC-Schale mit Mineralschaumfüllung, hinterlüftete Aussenhülle aus thermisch aktiven UHPC-Plattenelementen



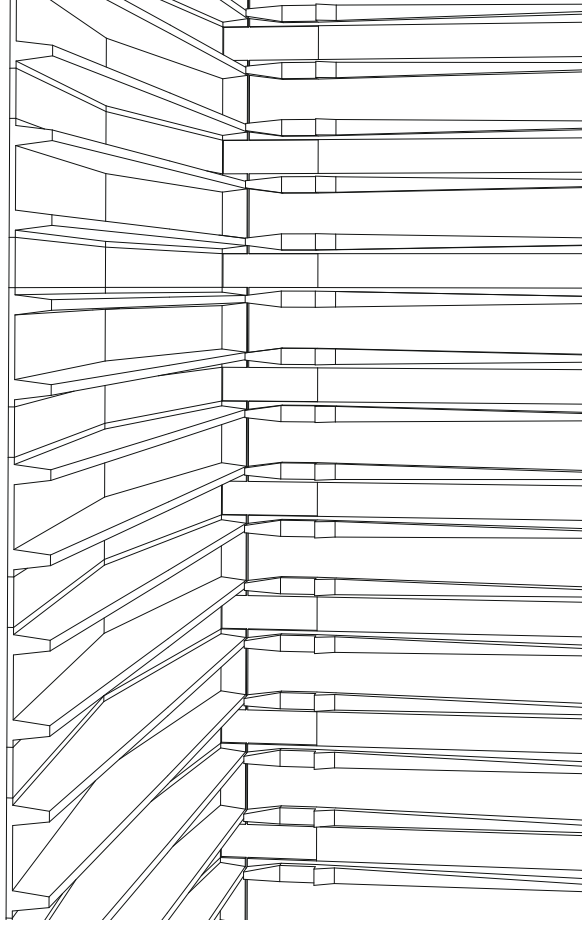
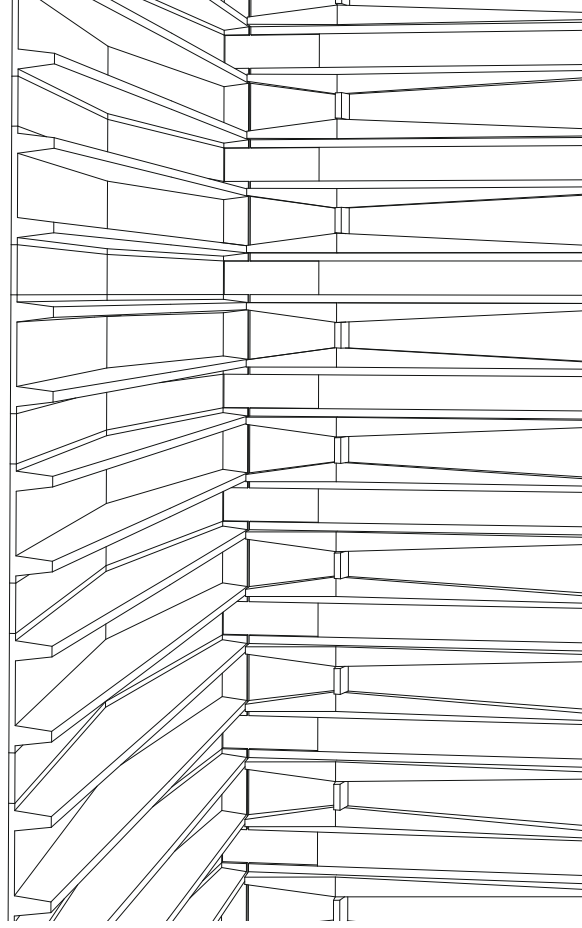
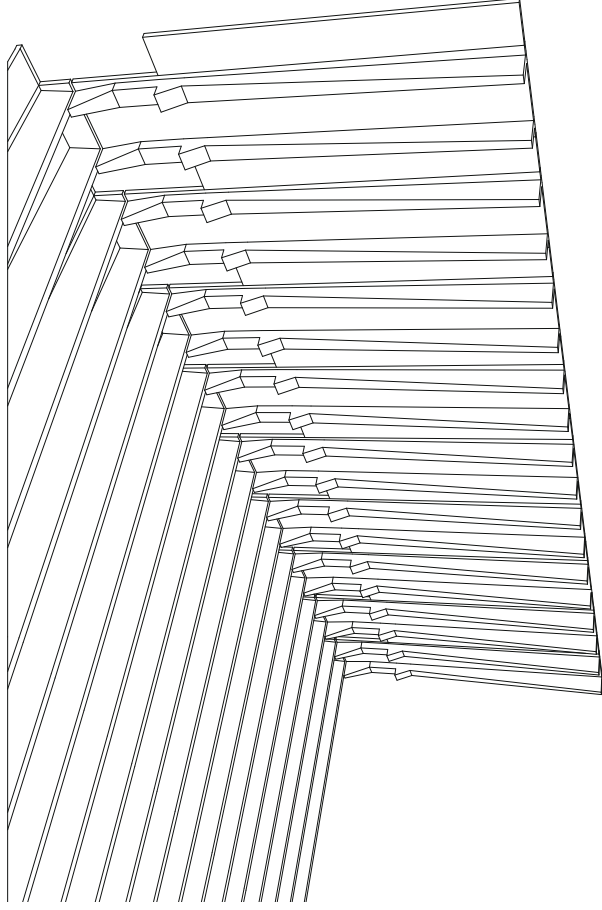
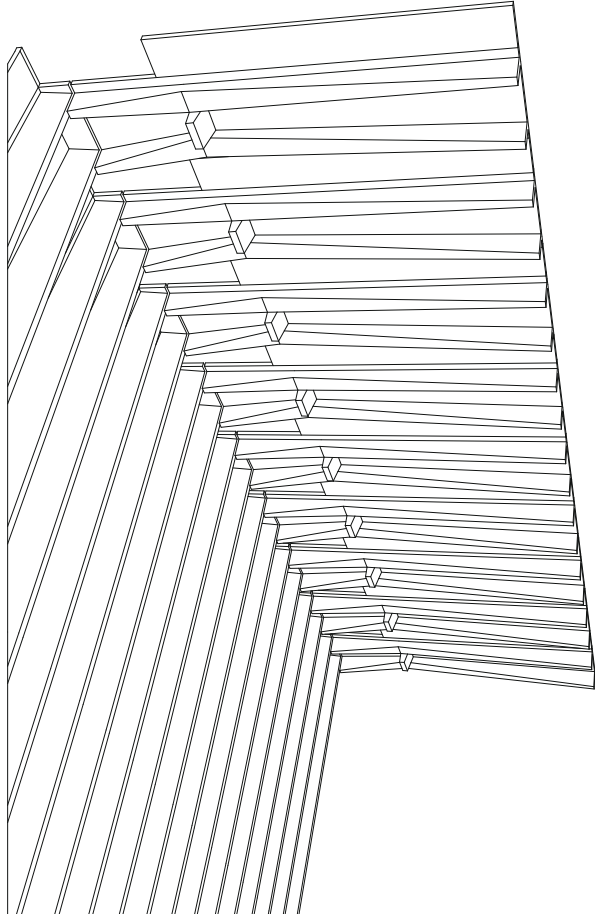
Skizzen zur Entwicklung eines integrativen Tragwerks

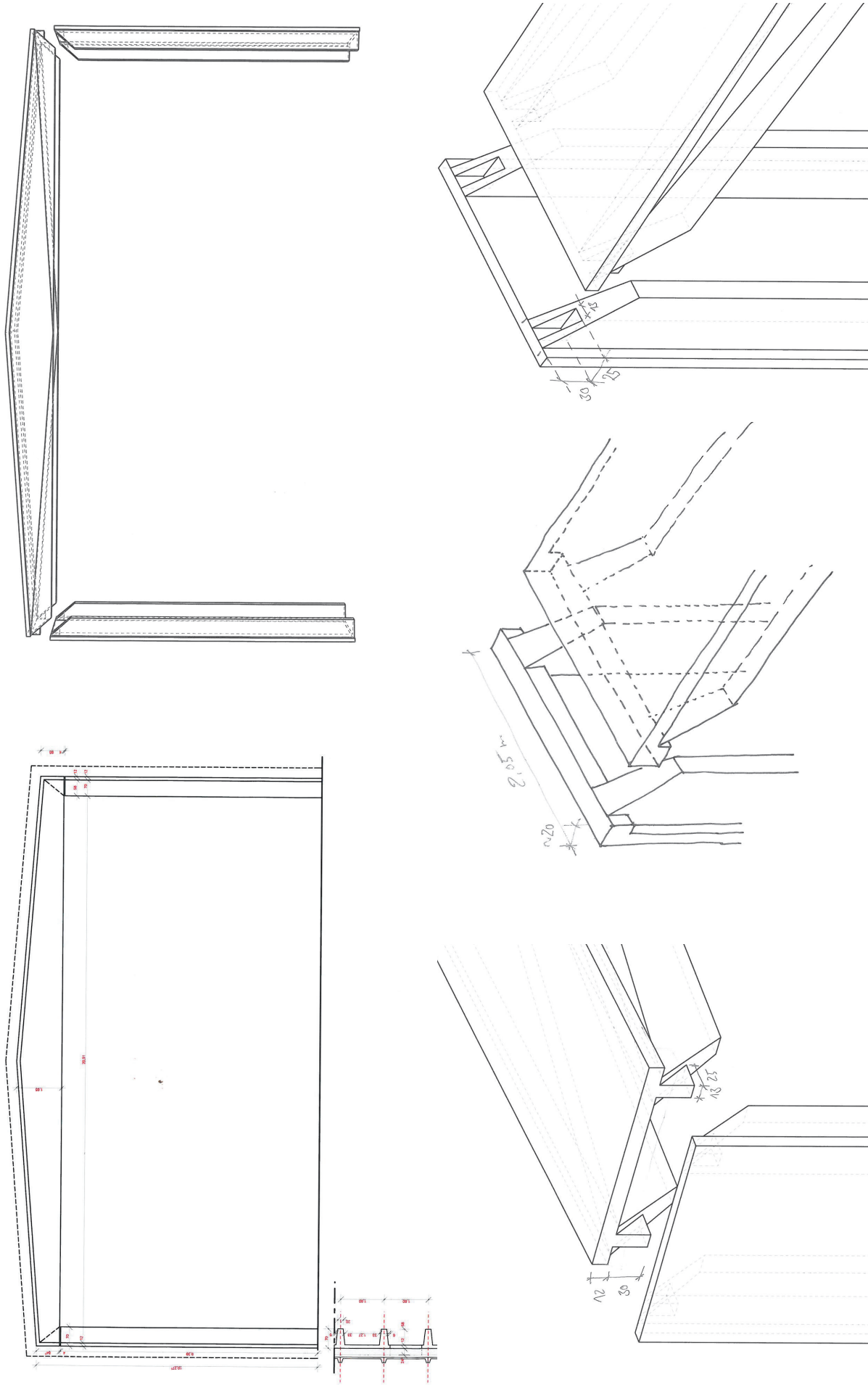




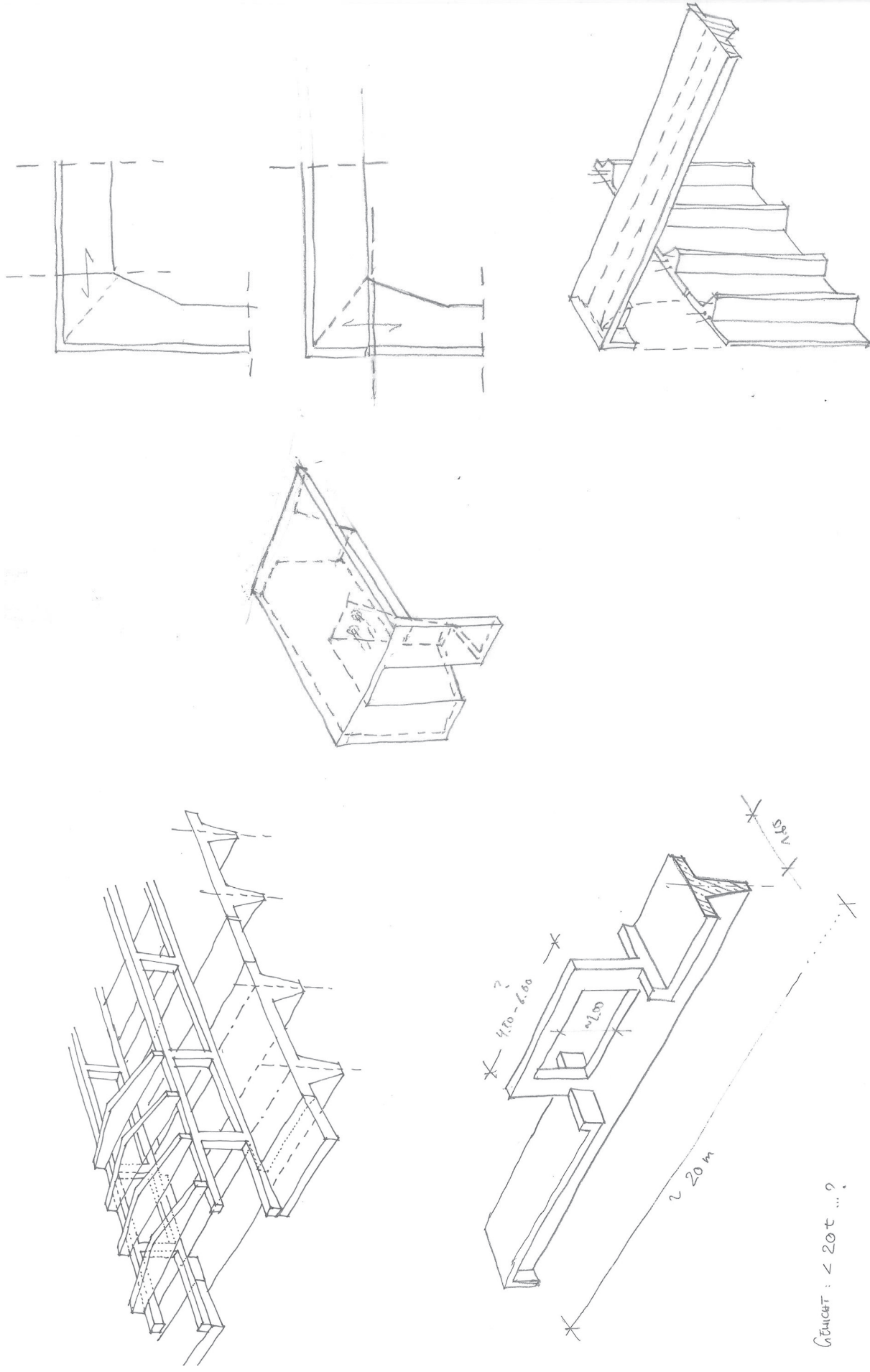
Studien zur Integration der Kranbahnkonsole

... oder Stützen und Wandelemente





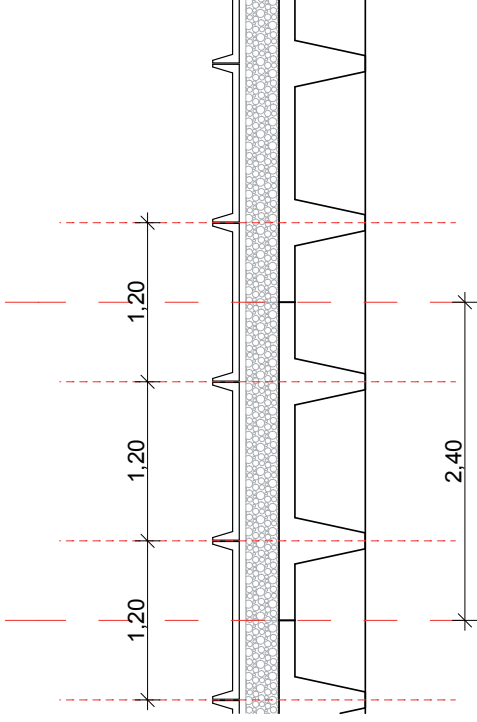
Geometrische Studien zur Ausbildung des Auflagers von Träger auf Stütze



1,20 m

Anzahl Elemente:
32 Stck

Anzahl Stage:
62 Stage ohne TH

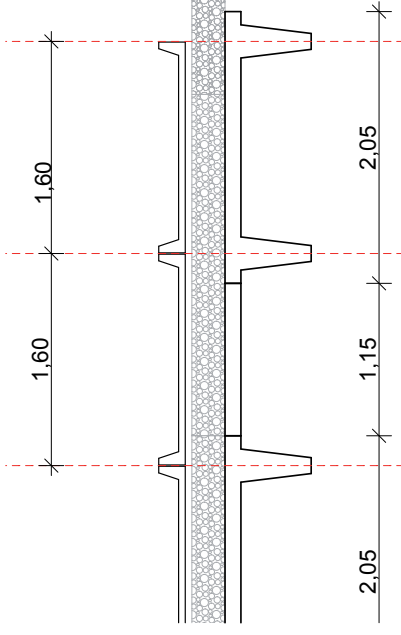


1,60 m

Anzahl Elemente, gr.:
22 Stck

Anzahl Elemente, kl.:
20 Stck

Anzahl Stage:
44 Stage ohne TH

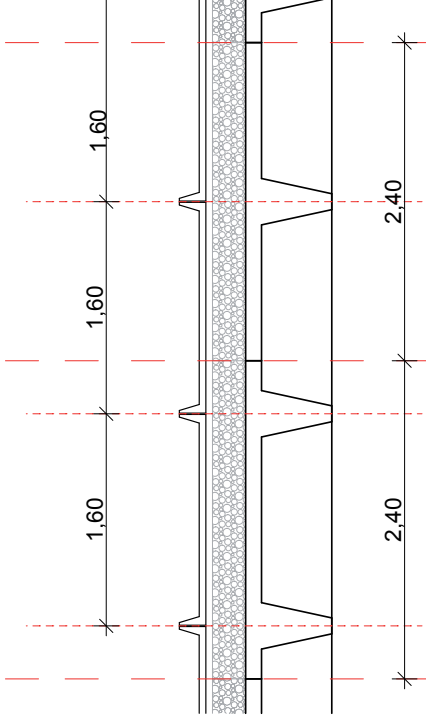


1,60 m

Anzahl Elemente T:
16 Stck

Anzahl Elemente Pl:
14 Stck

Anzahl Stage:
44 Stage ohne TH

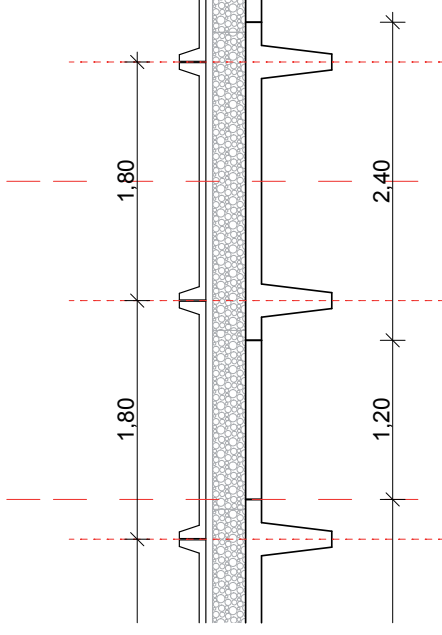


1,80 m

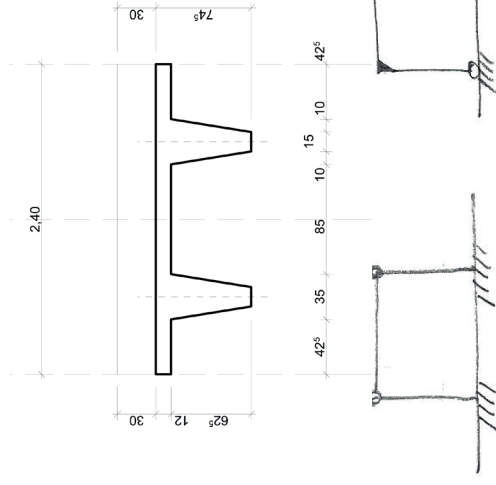
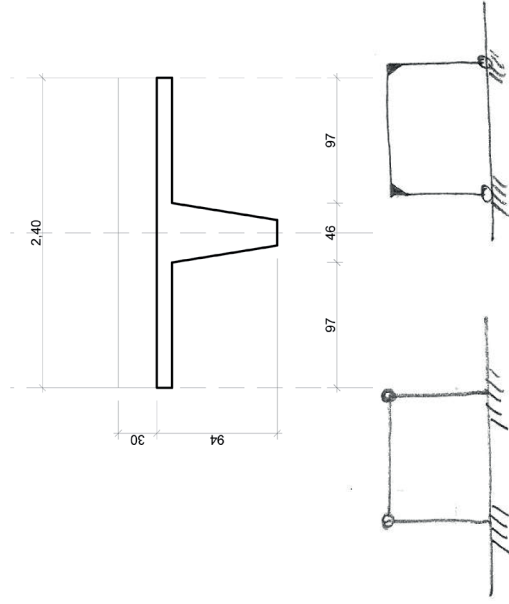
Anzahl Elemente, gr.:
18 Stck

Anzahl Elemente, kl.:
16 Stck

Anzahl Stage:
38 Stage ohne TH

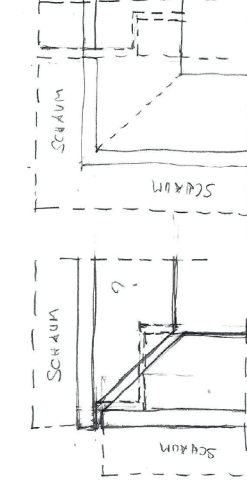
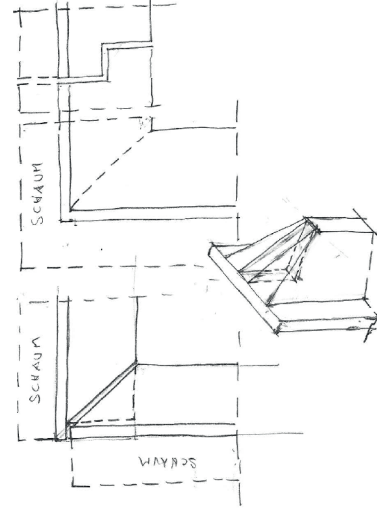


TRAGWERKSTUDIE



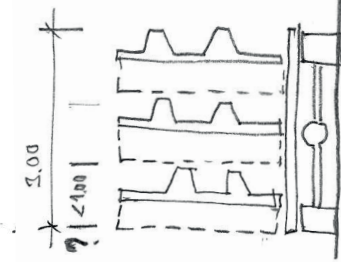
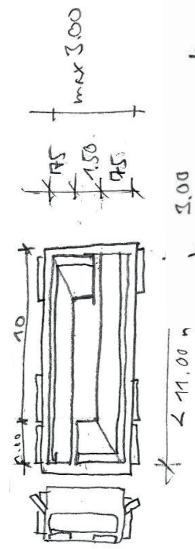
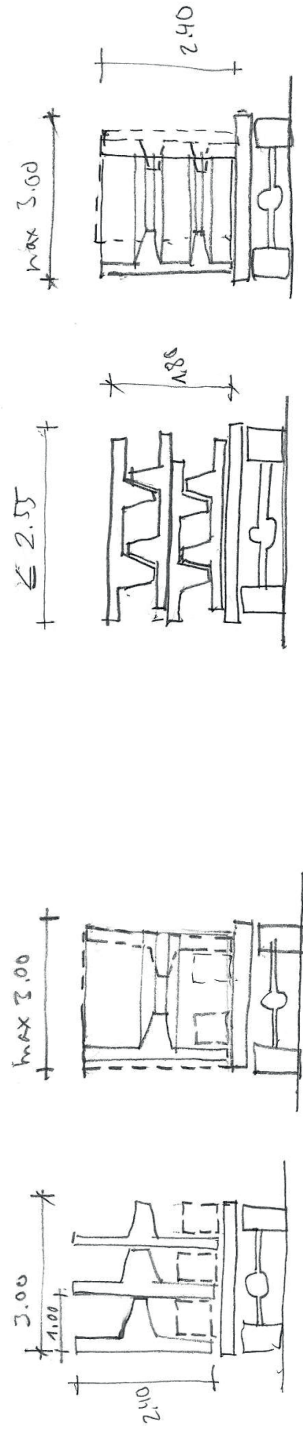
PI oder T

statisches System

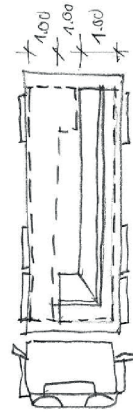
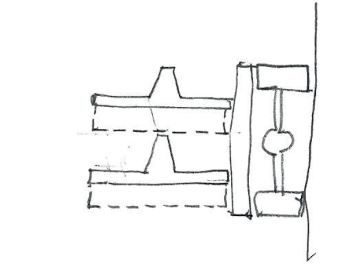
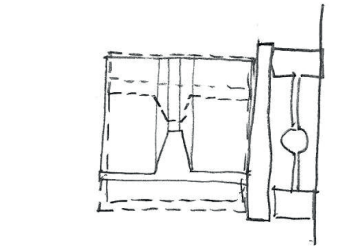
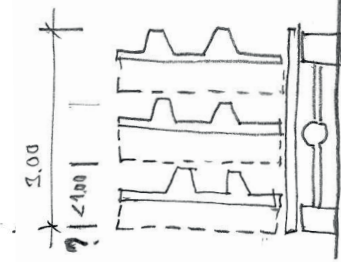
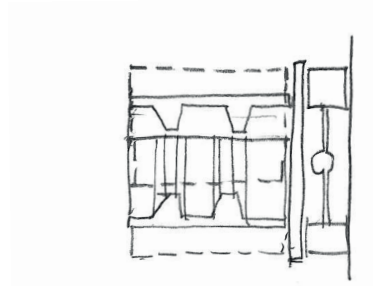


Eckausbildung

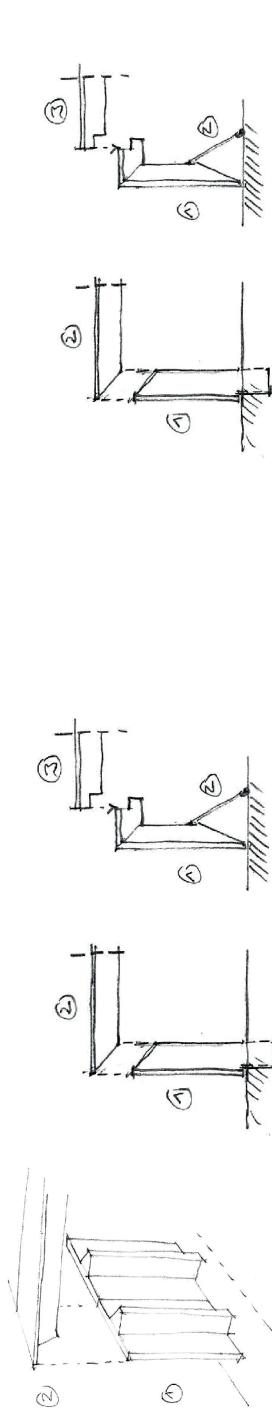
Transport
mit Mineralschaum



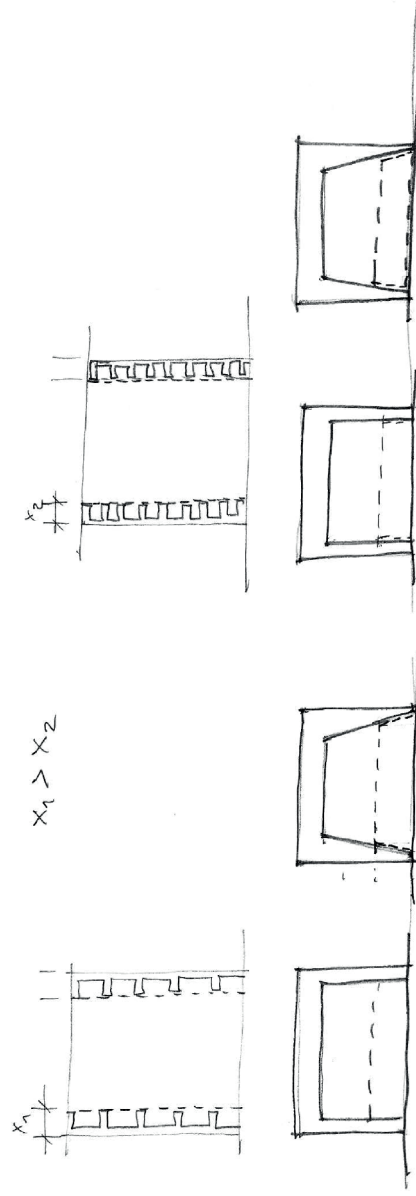
ohne Mineralschaum



Montage



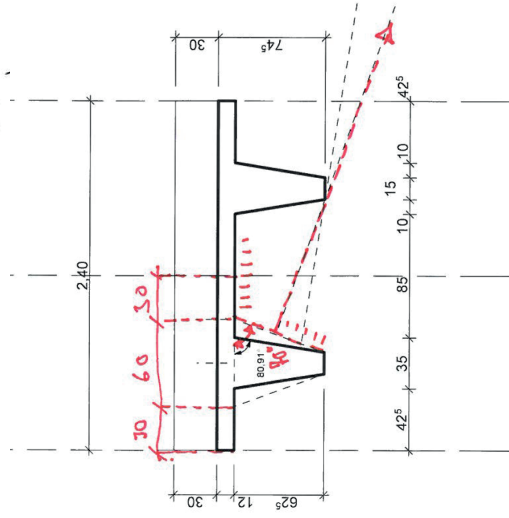
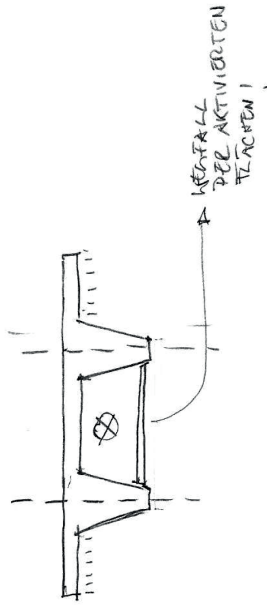
Raumökonomie



Stabilität

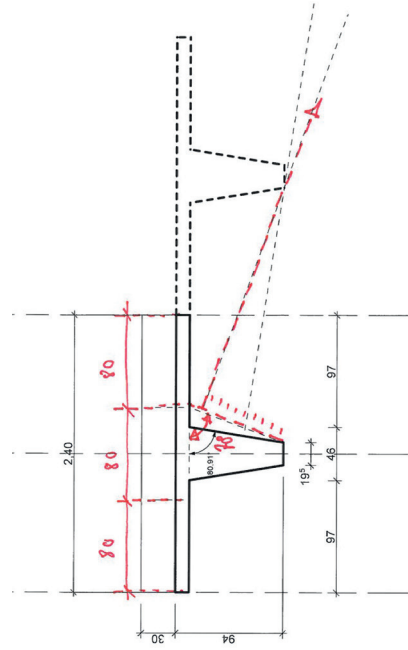
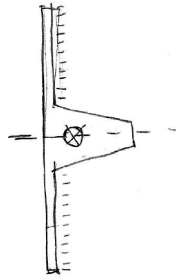


Luftführung

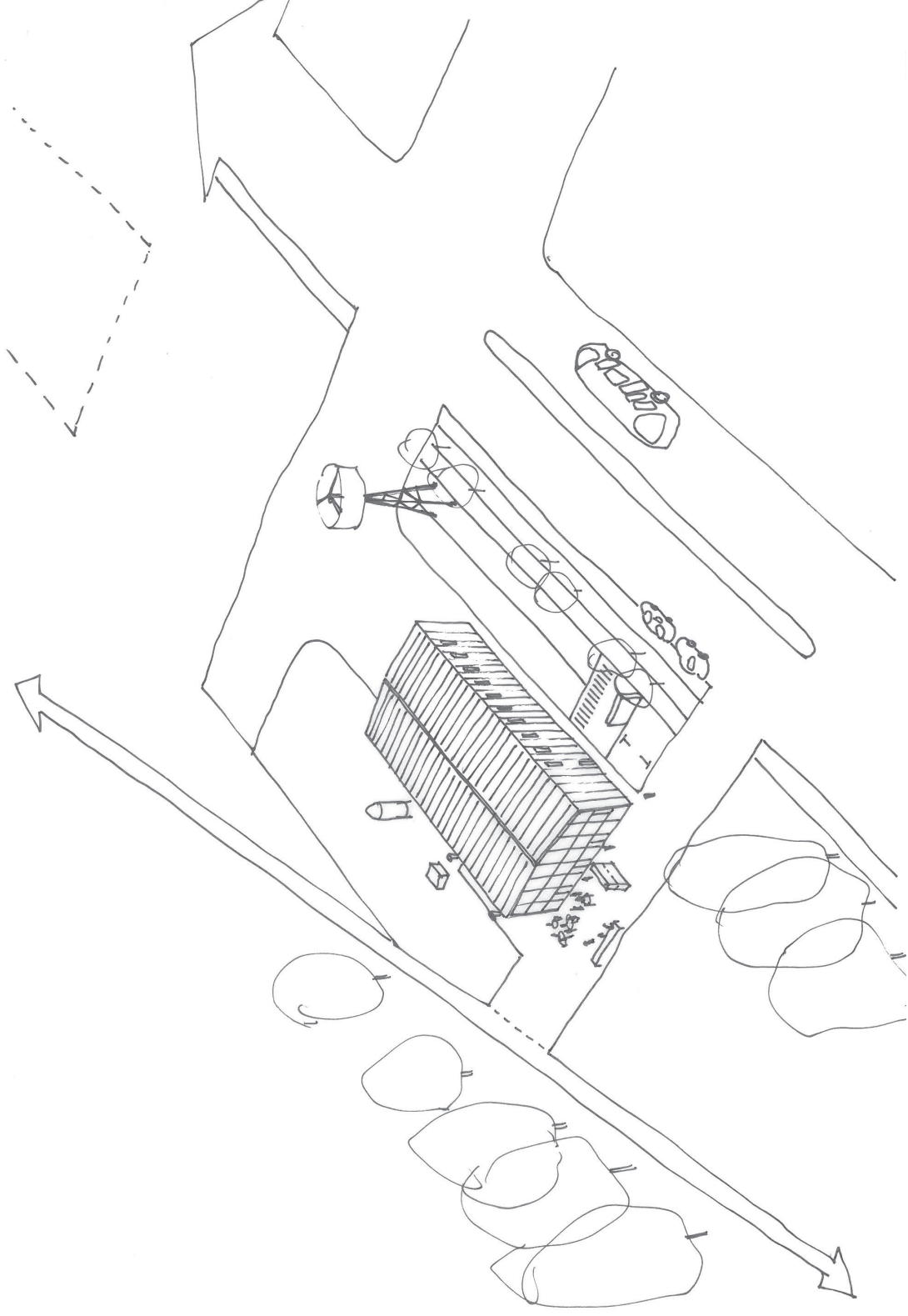


50% DER HORIZONTALEN FLÄCHE
AKTIVIERT
+ 50% DER SEITENFLÄCHE

Kosten

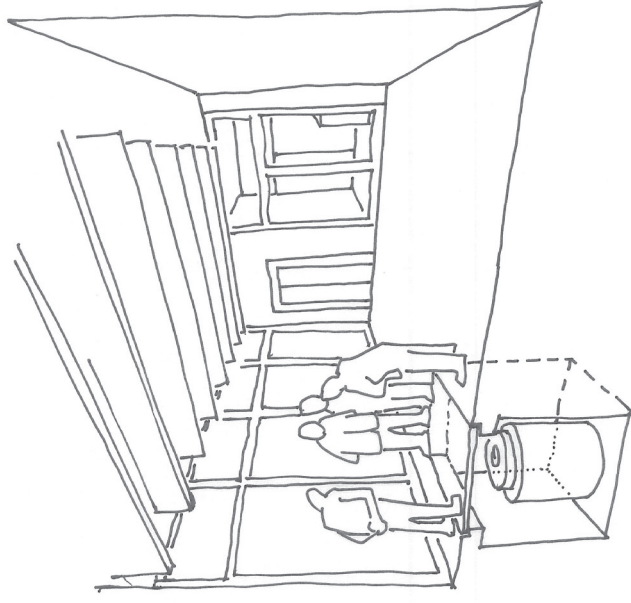


66% DER HORIZONTALEN
FLÄCHE WIRD AKTIVIERT
+ 30% DER SEITENFLÄCHE

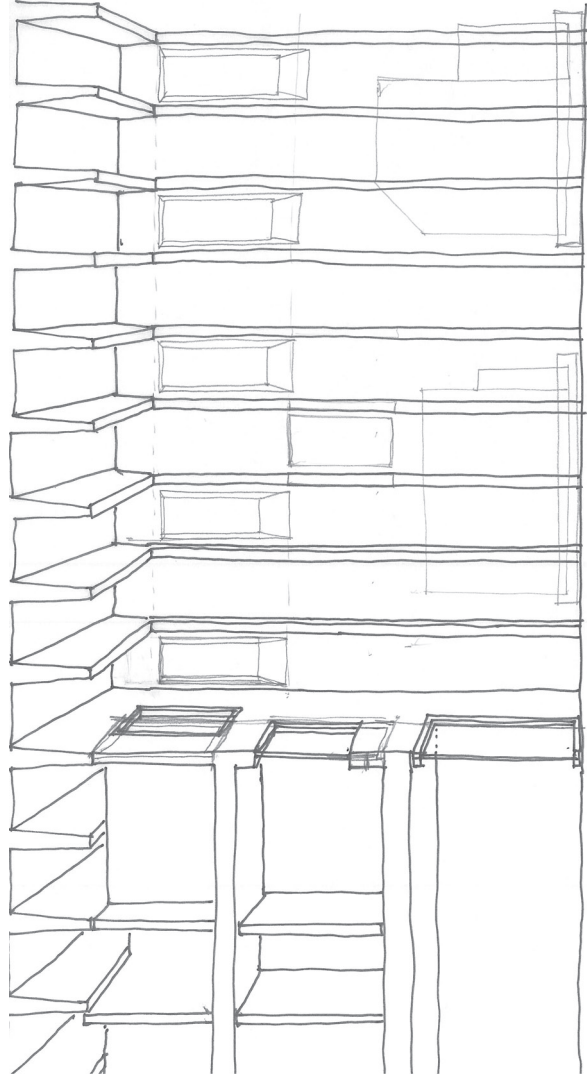




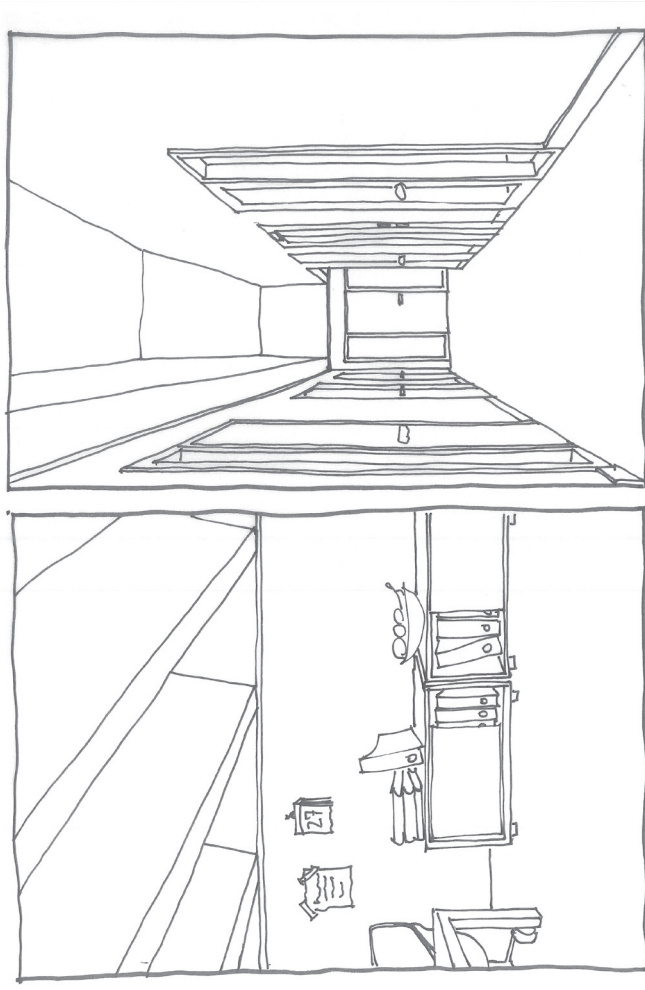
Präsentationen in der Forschungshalle



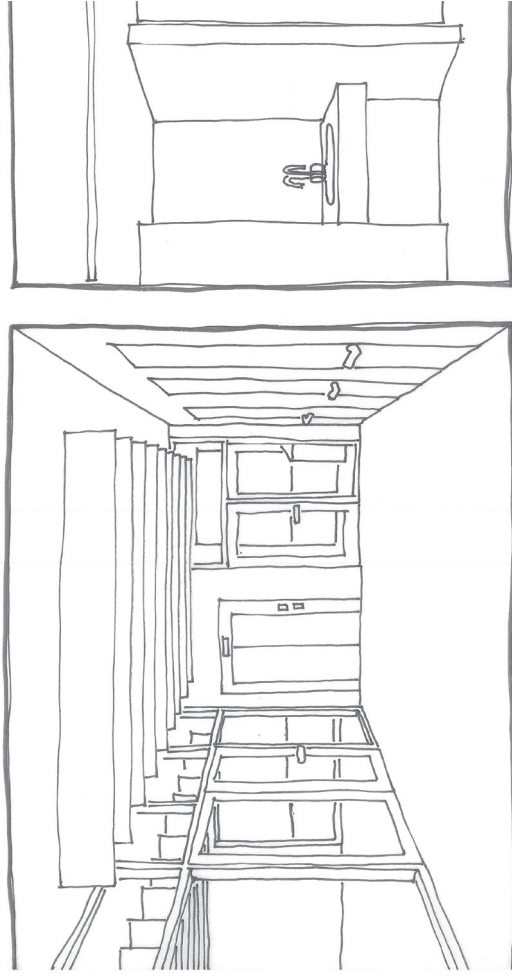
Schwingmassenspeicher unter dem Foyerboden
Blick durch begehbare Oberlicht



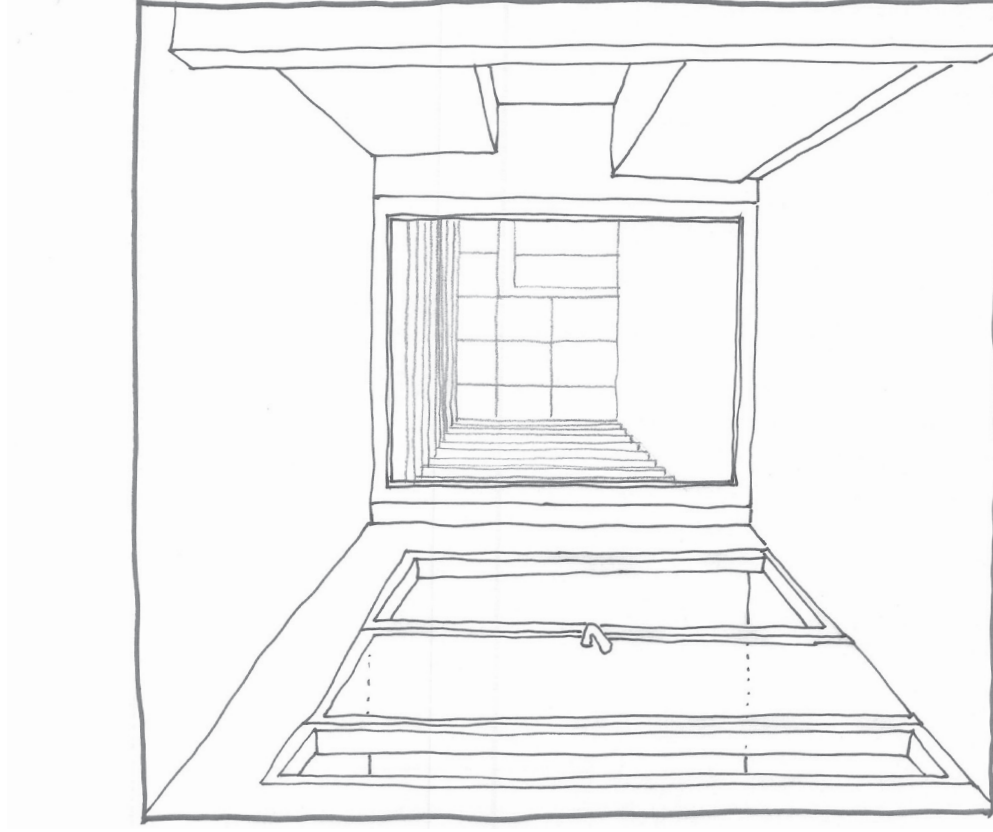
Raumbezug Büros / Seminarraum zur Forschungshalle



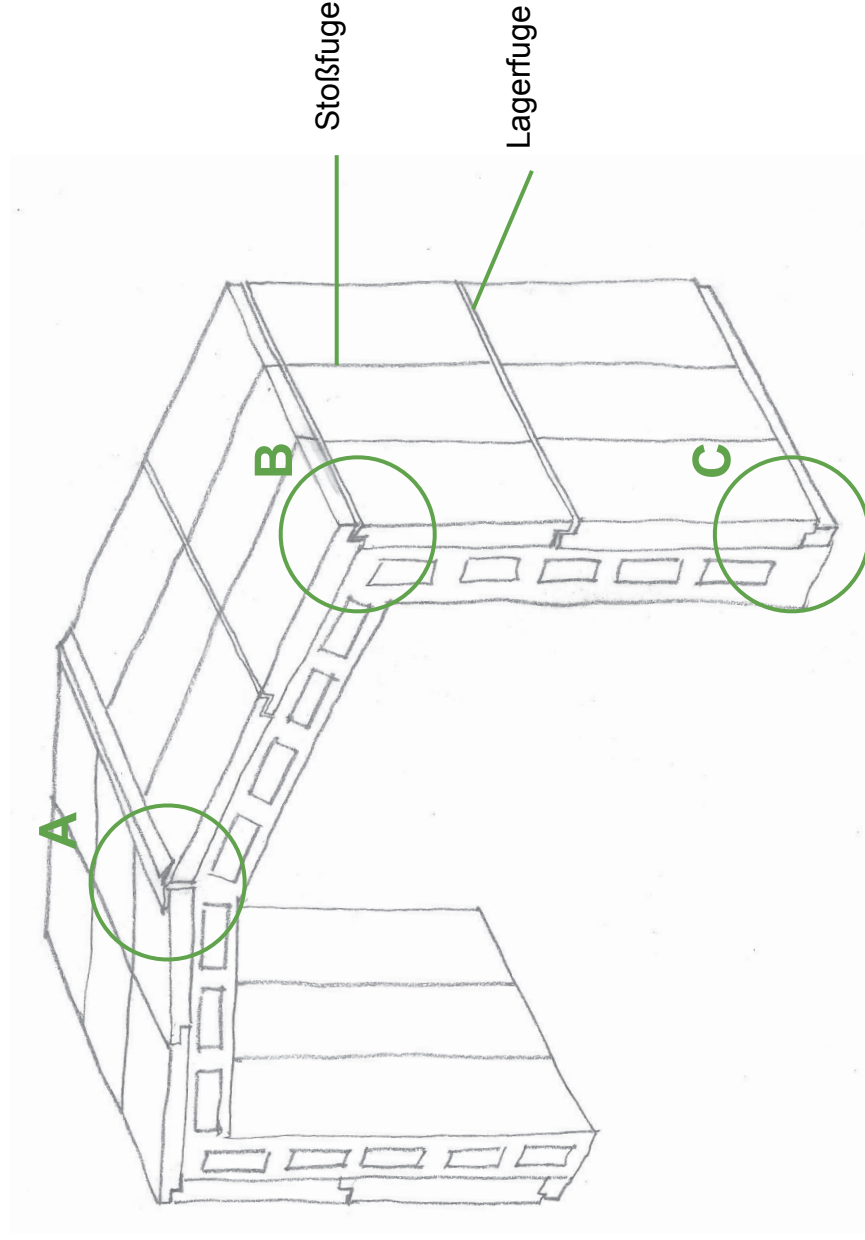
Bürogeschoss 2.OG – Blick in Büro und Flur



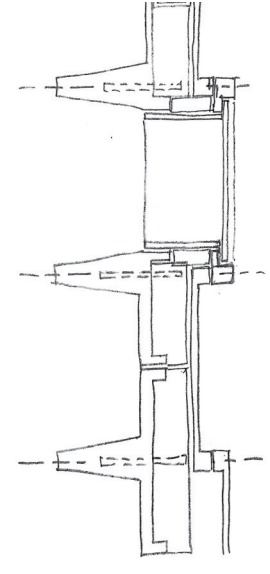
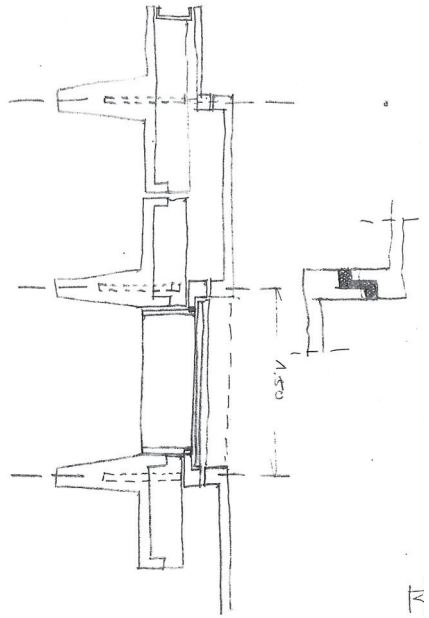
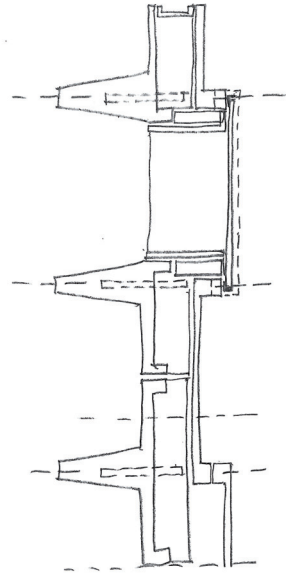
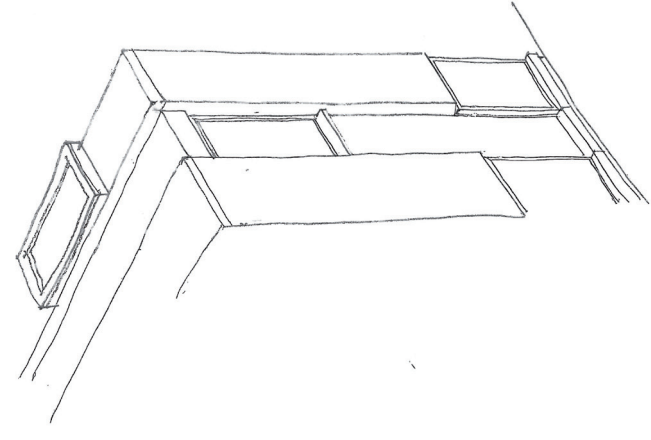
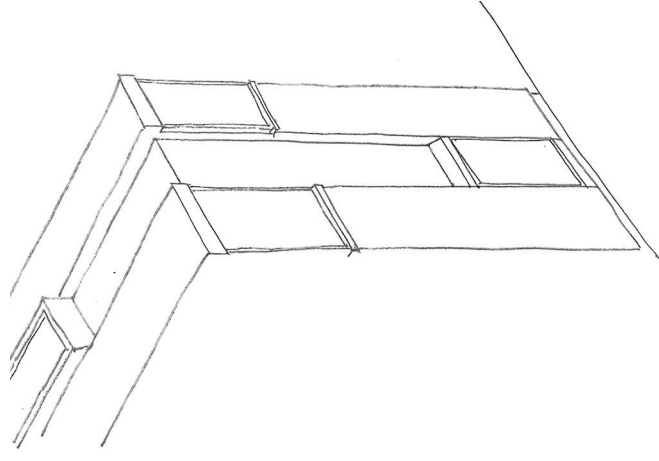
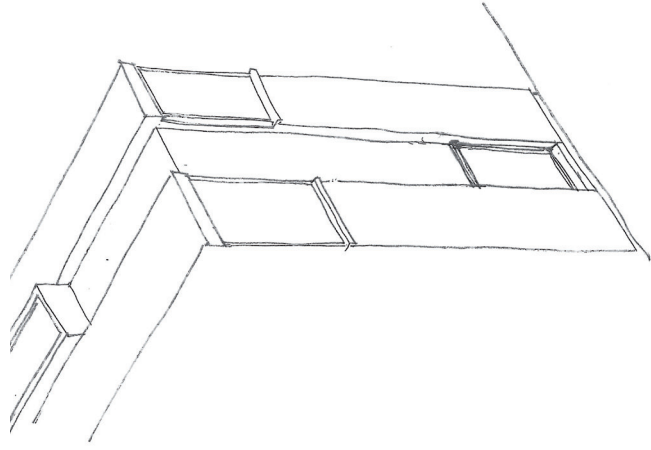
Foyerbereich – Blick durch Seminarraum in die Forschungshalle

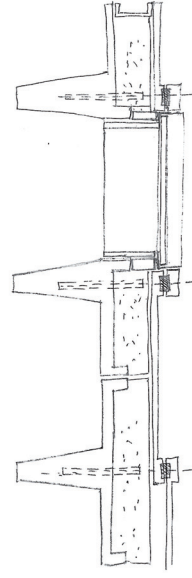
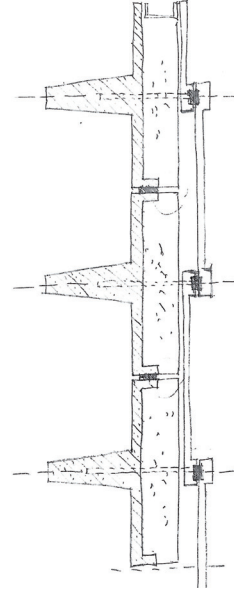
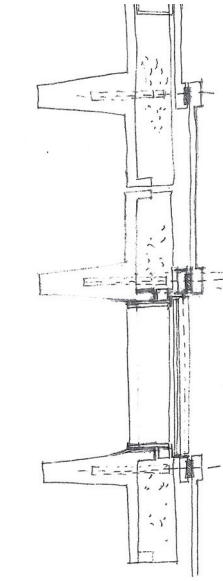
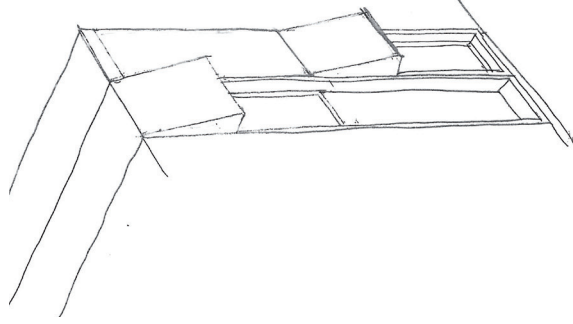
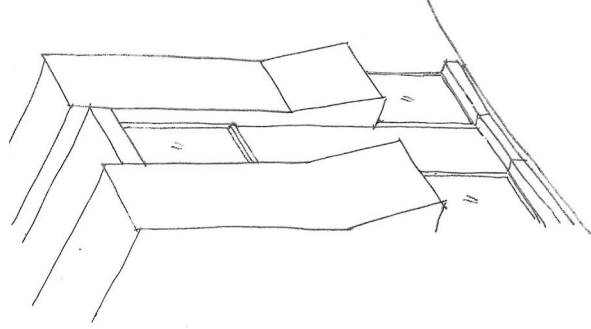
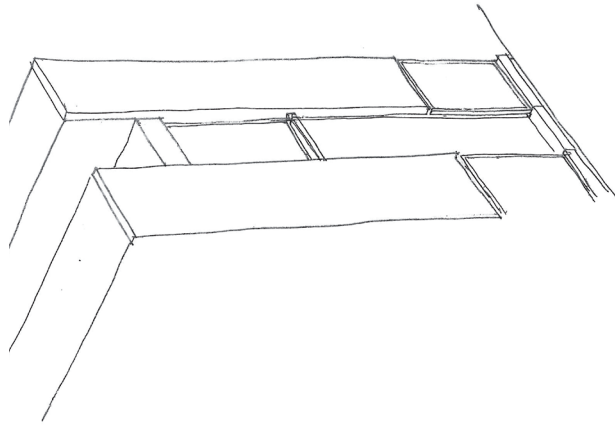


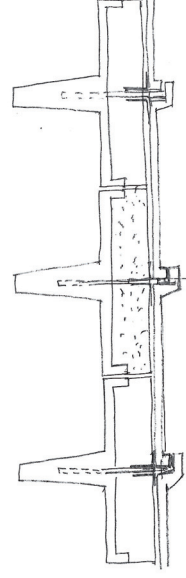
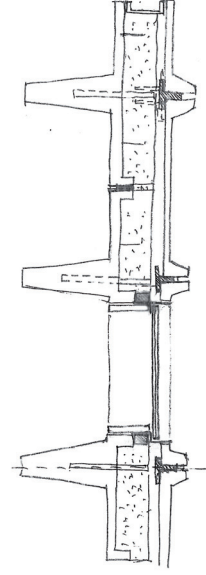
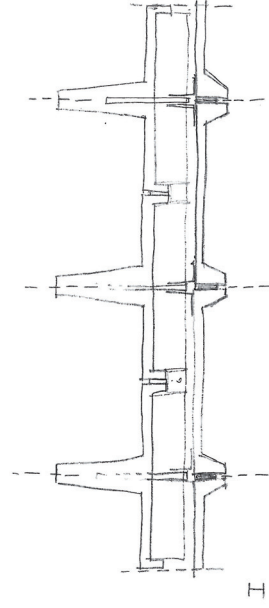
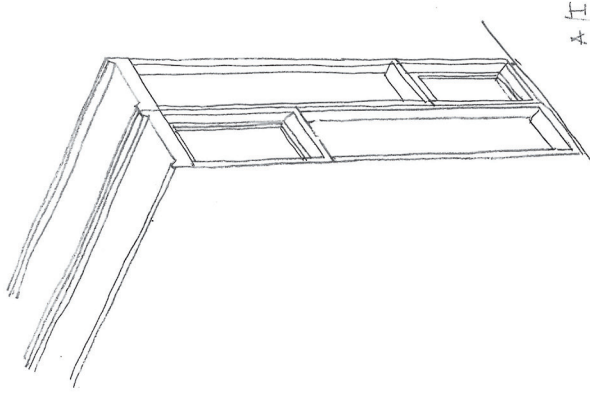
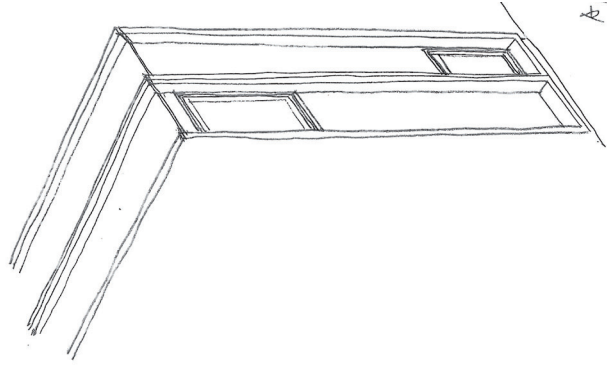
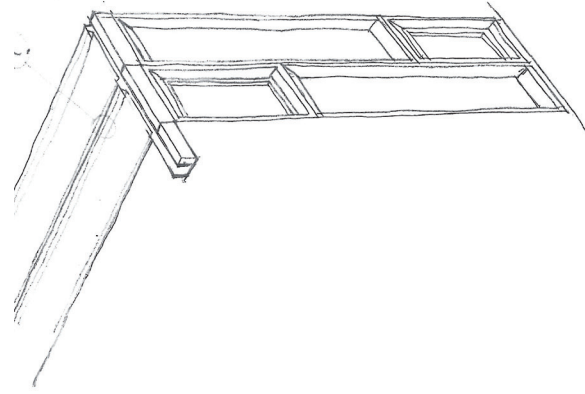
Blick aus der Teeküche in die Forschungshalle

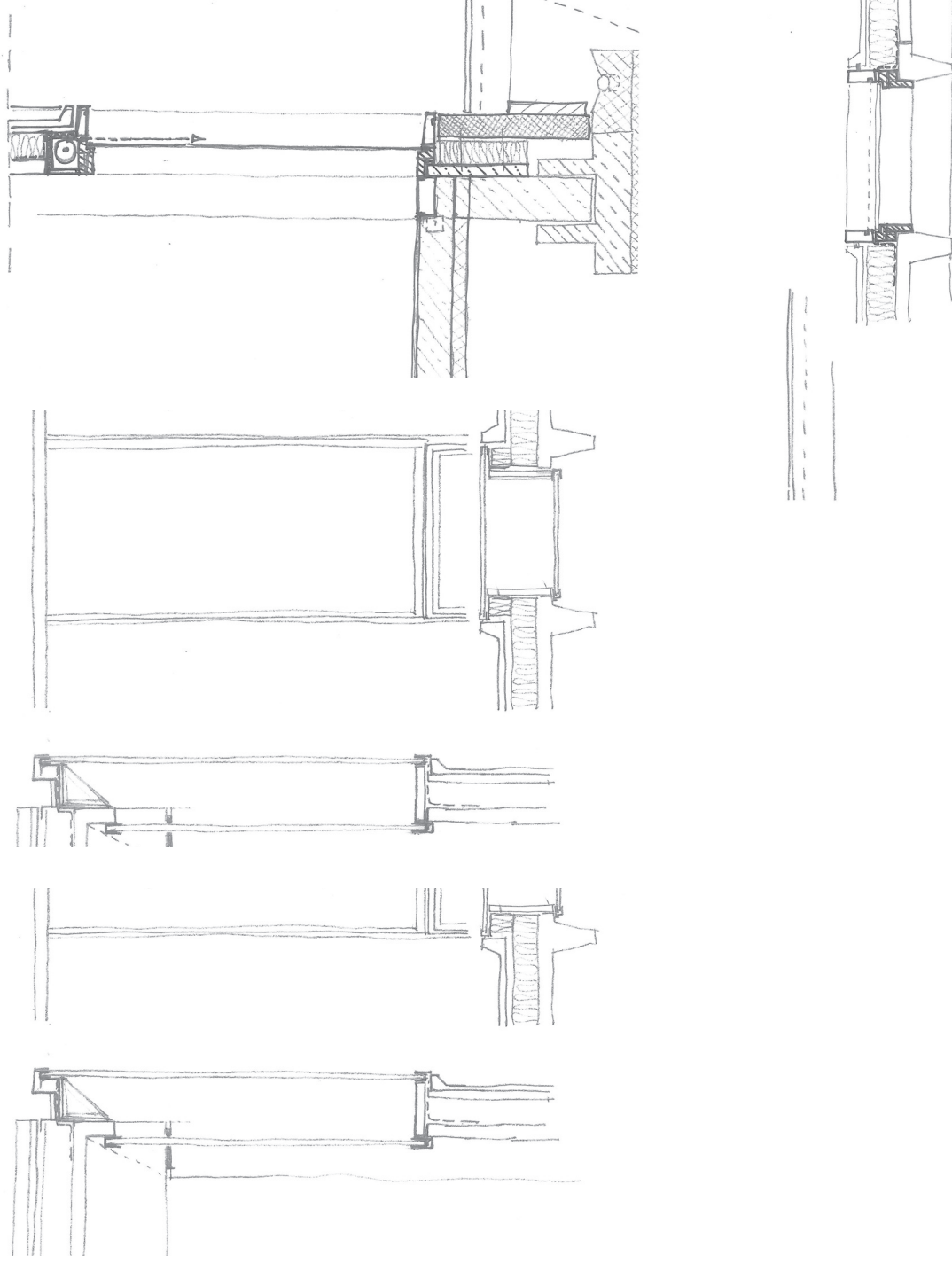


- Fügung von Stoß- und Lagerfugen
- Ausbildung der First- (A), Trauf- (B) und (C) Sockelbereiche
- Differenzierung in Dach- und Wandelemente ?

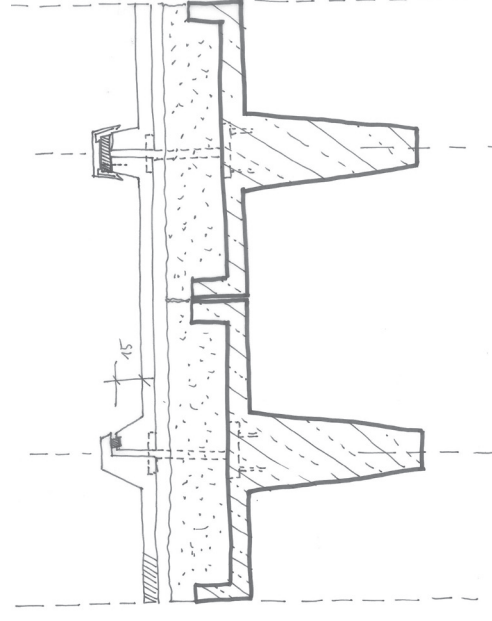
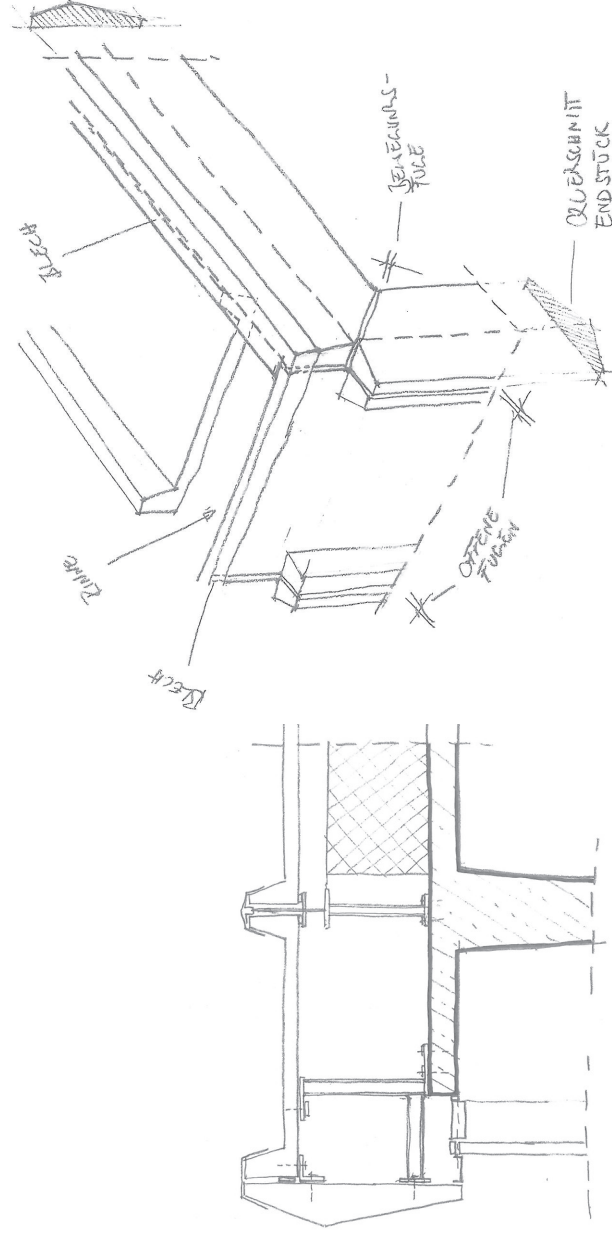
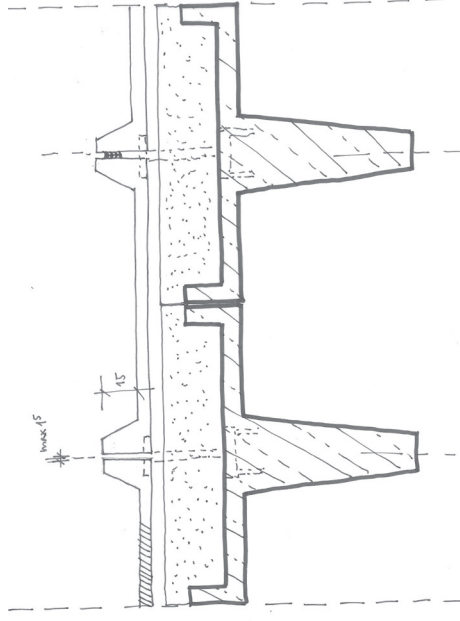
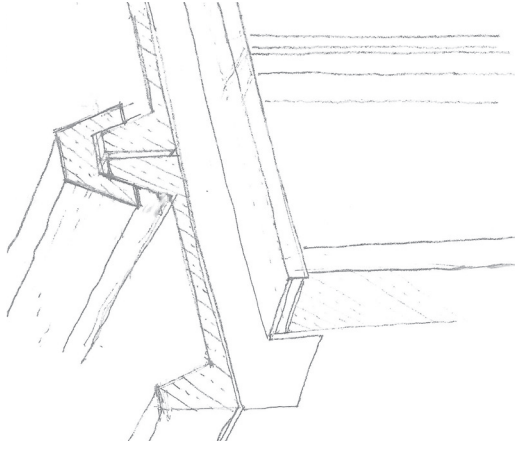






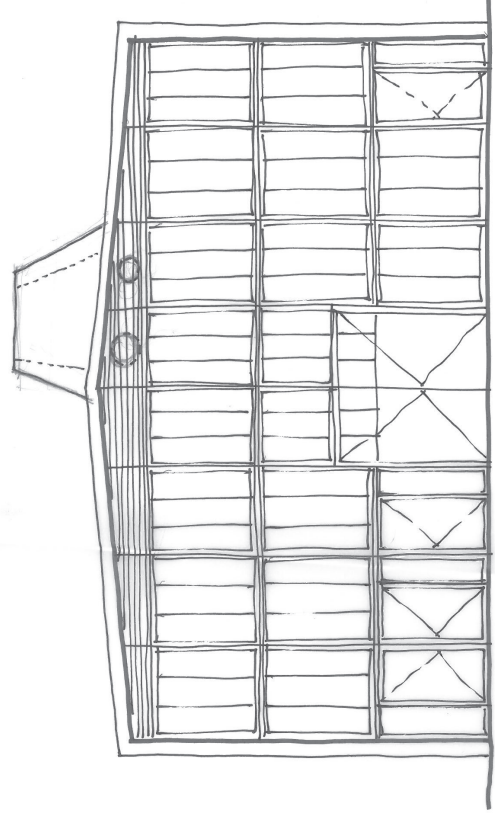
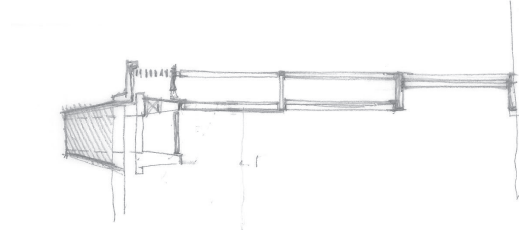
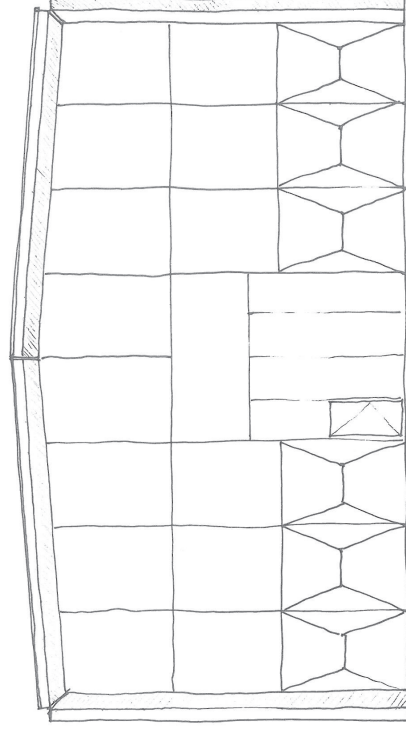
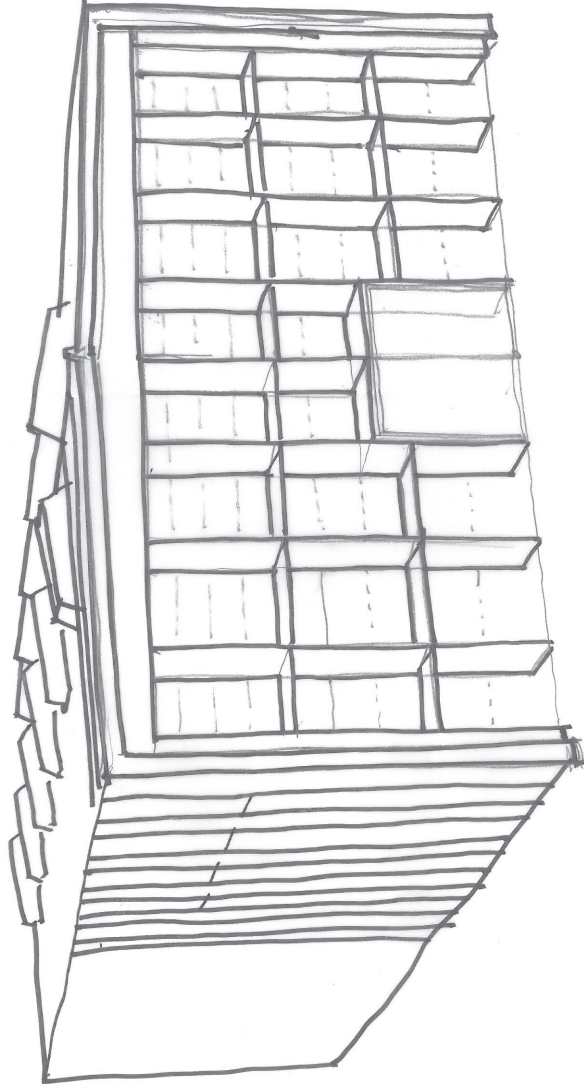


ENTWURFS-CHRONOLOGIE

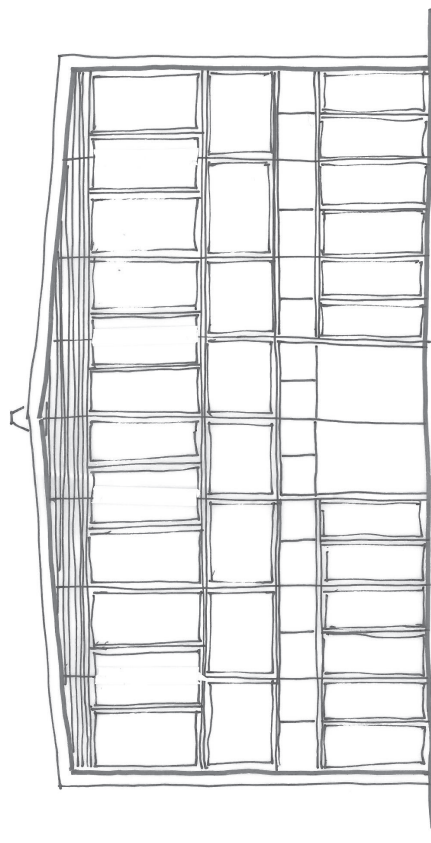
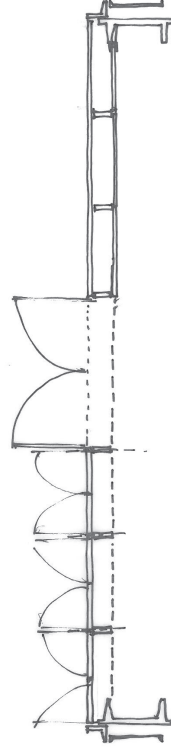
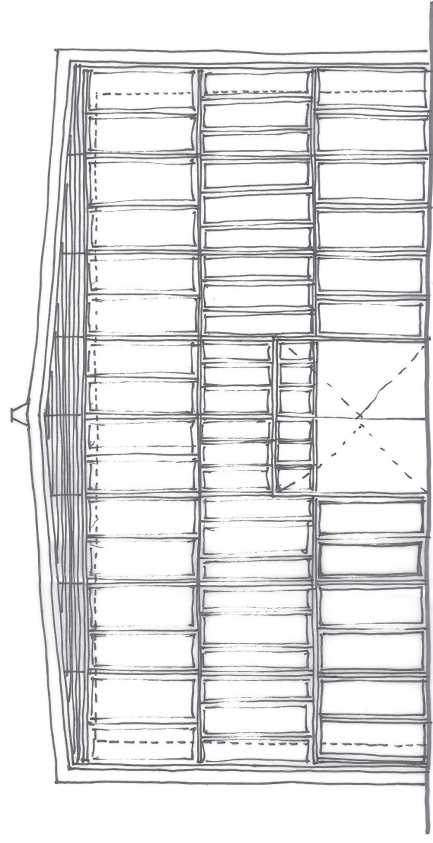
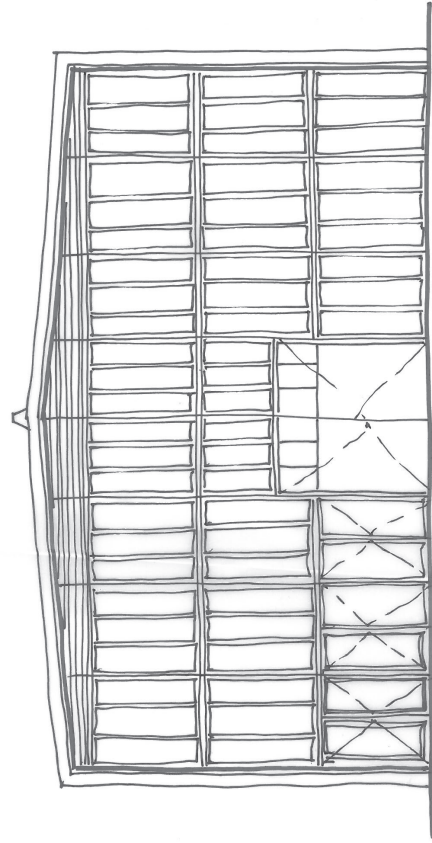


Studie zur konstruktiven Ausbildung des Randabschlusses an den Stirnseiten der Halle

Studie zu unterschiedlichen Lösungen, die Fugen zwischen den Dachplatten zu schliessen



Studie zur Hallen- / Südfassade und der Integration eines Solarkamins in der doppelten Südverglasung

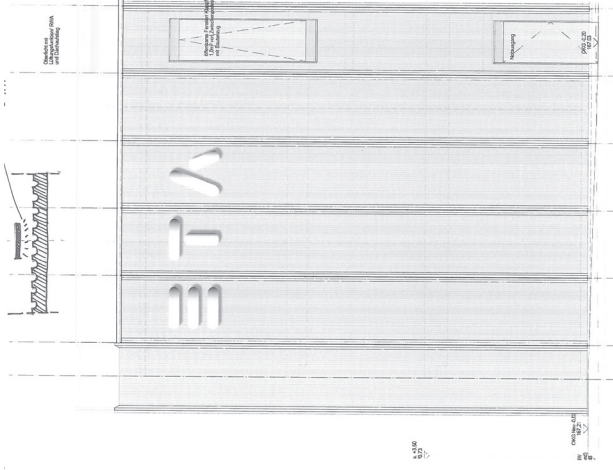
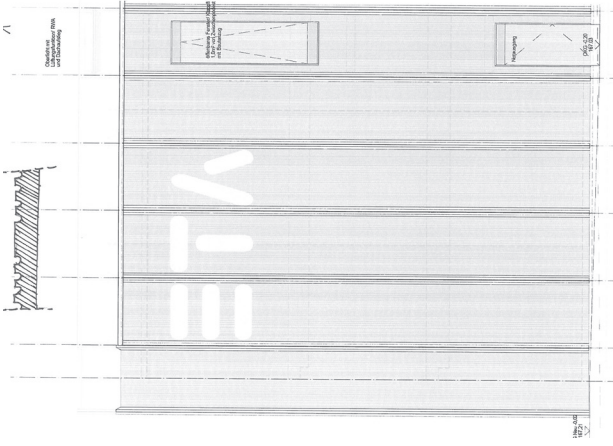
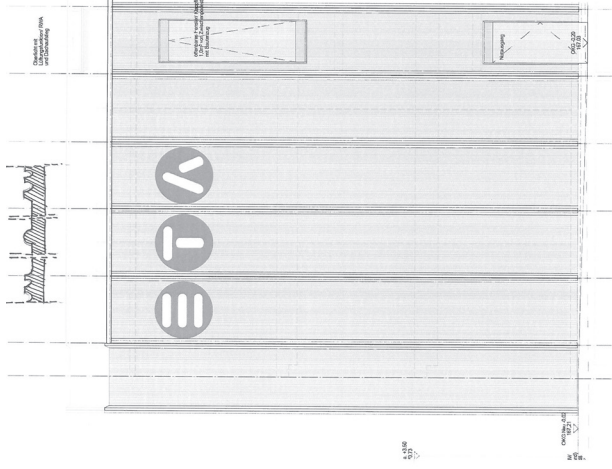
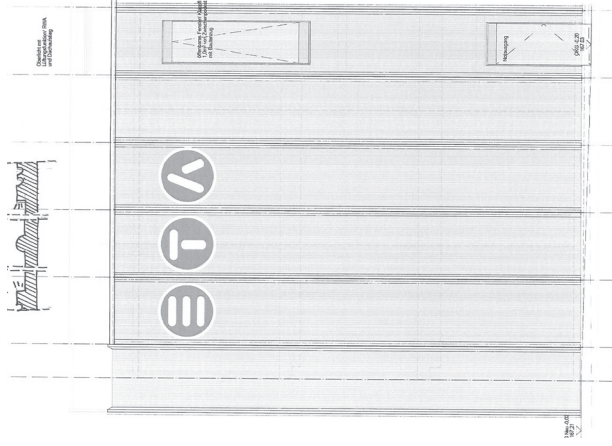


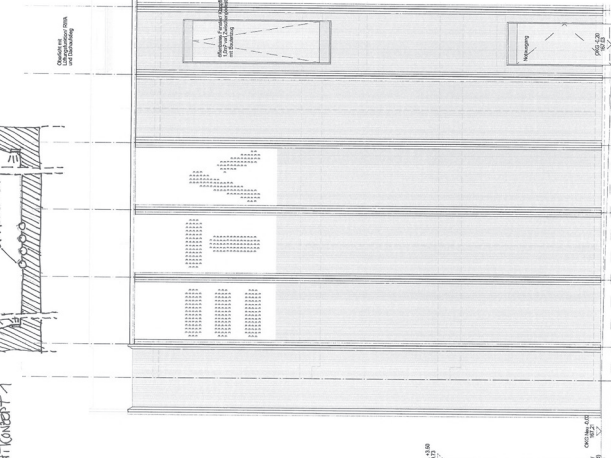
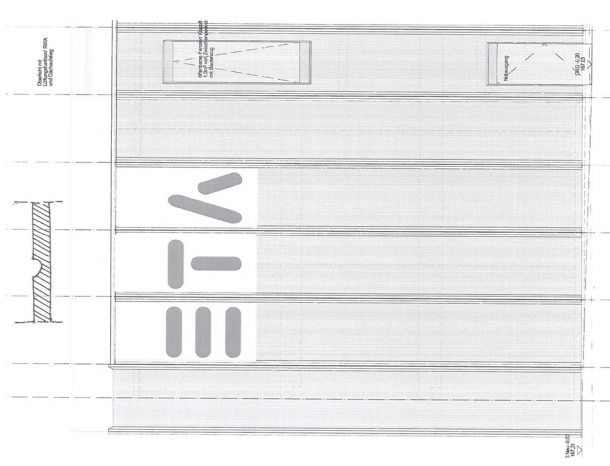


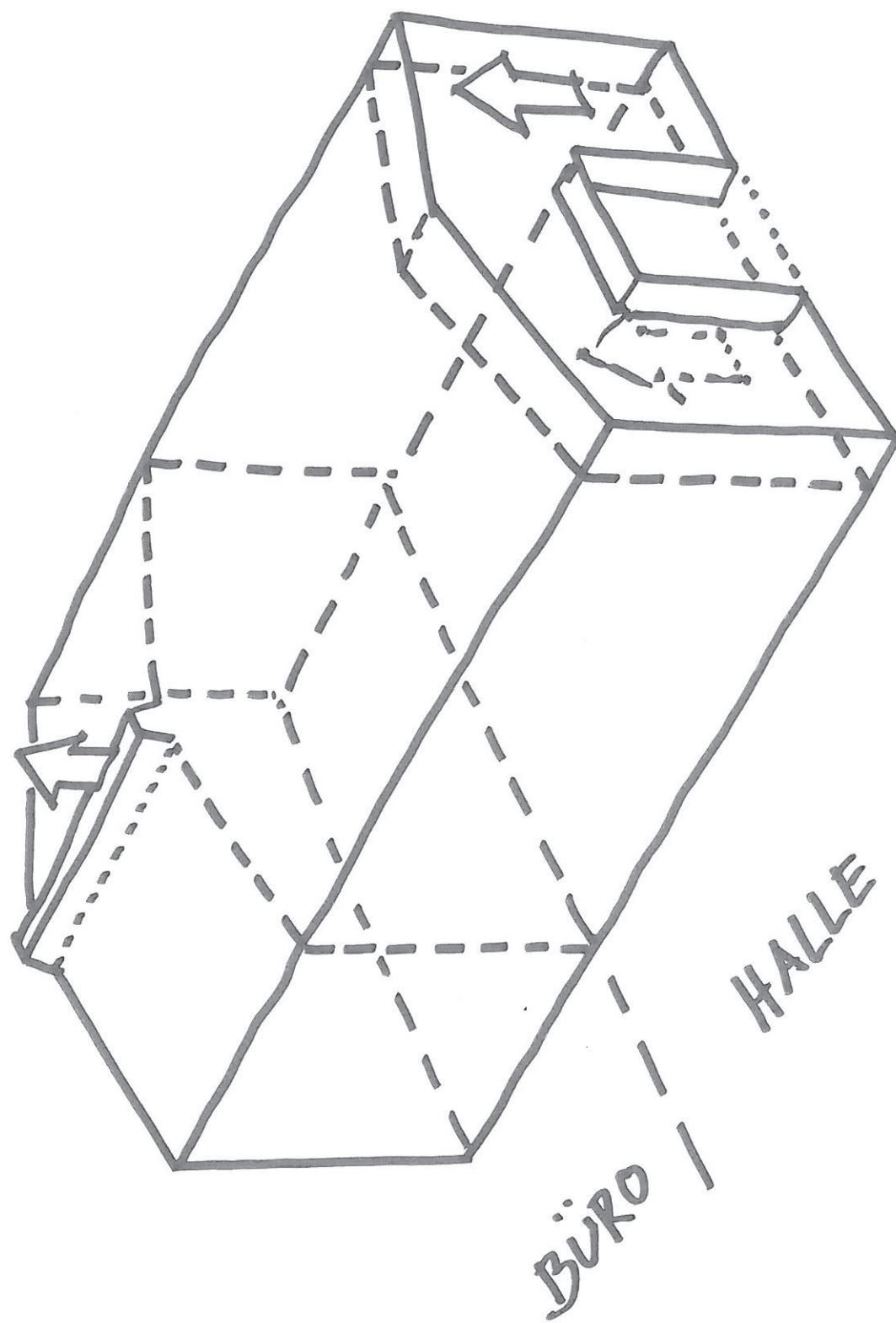
Studie zur Ost-West-Fassade. Ausbildung von Sockel und Traufkante



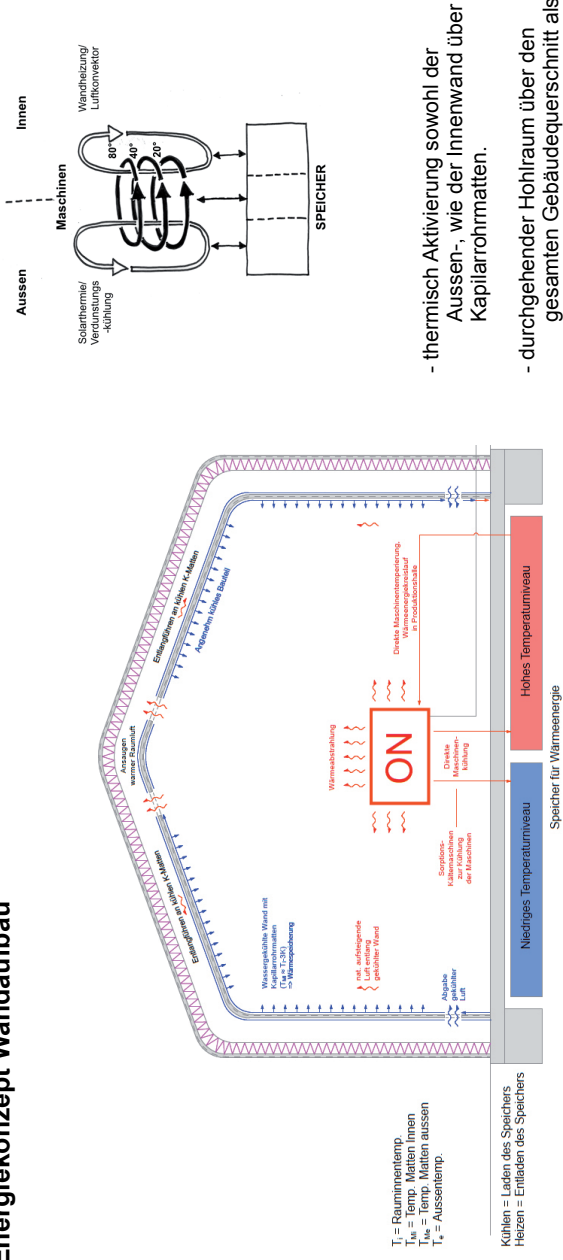
Studie zur Traufkante – mit und ohne innenliegender Rinne



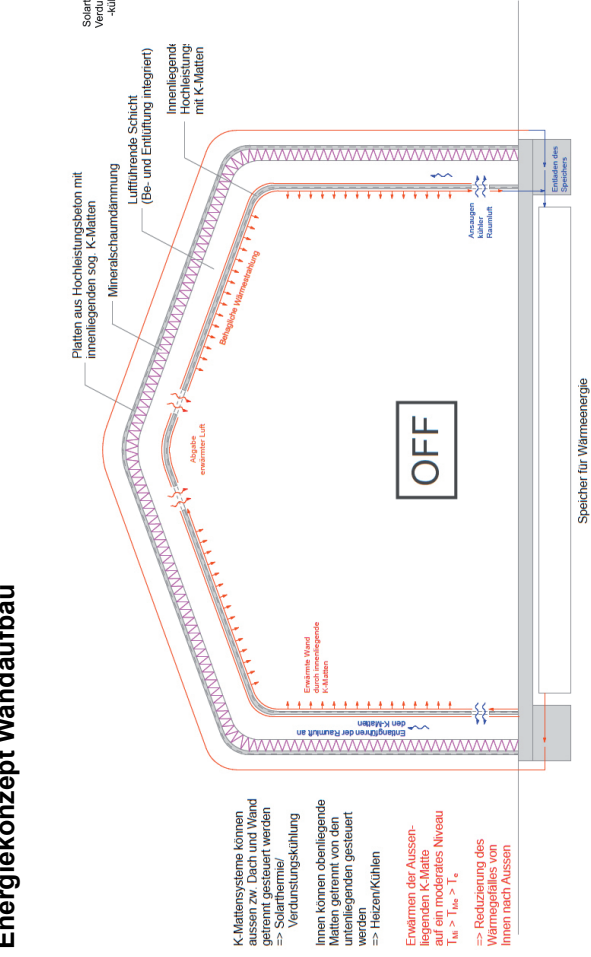




Energiekonzept Wandaufbau

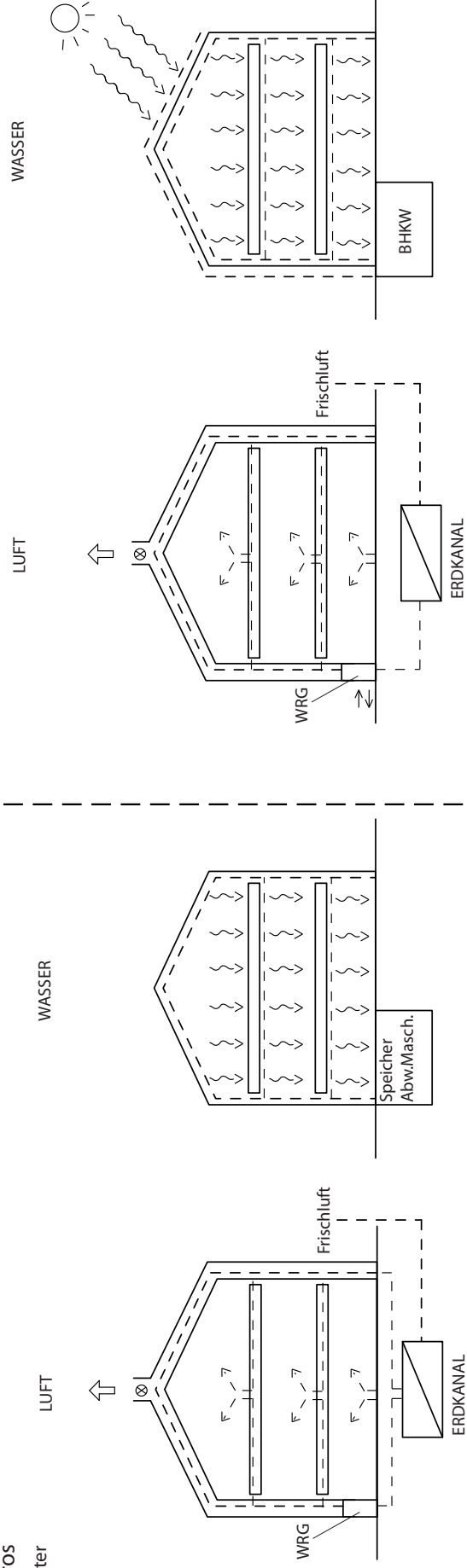


Energiekonzept Wandaufbau

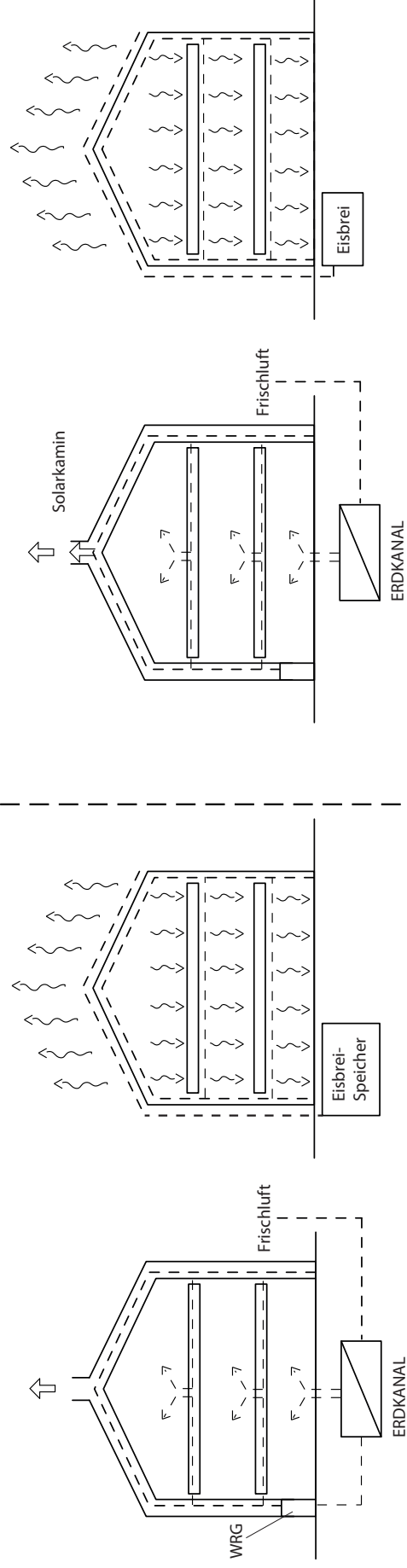


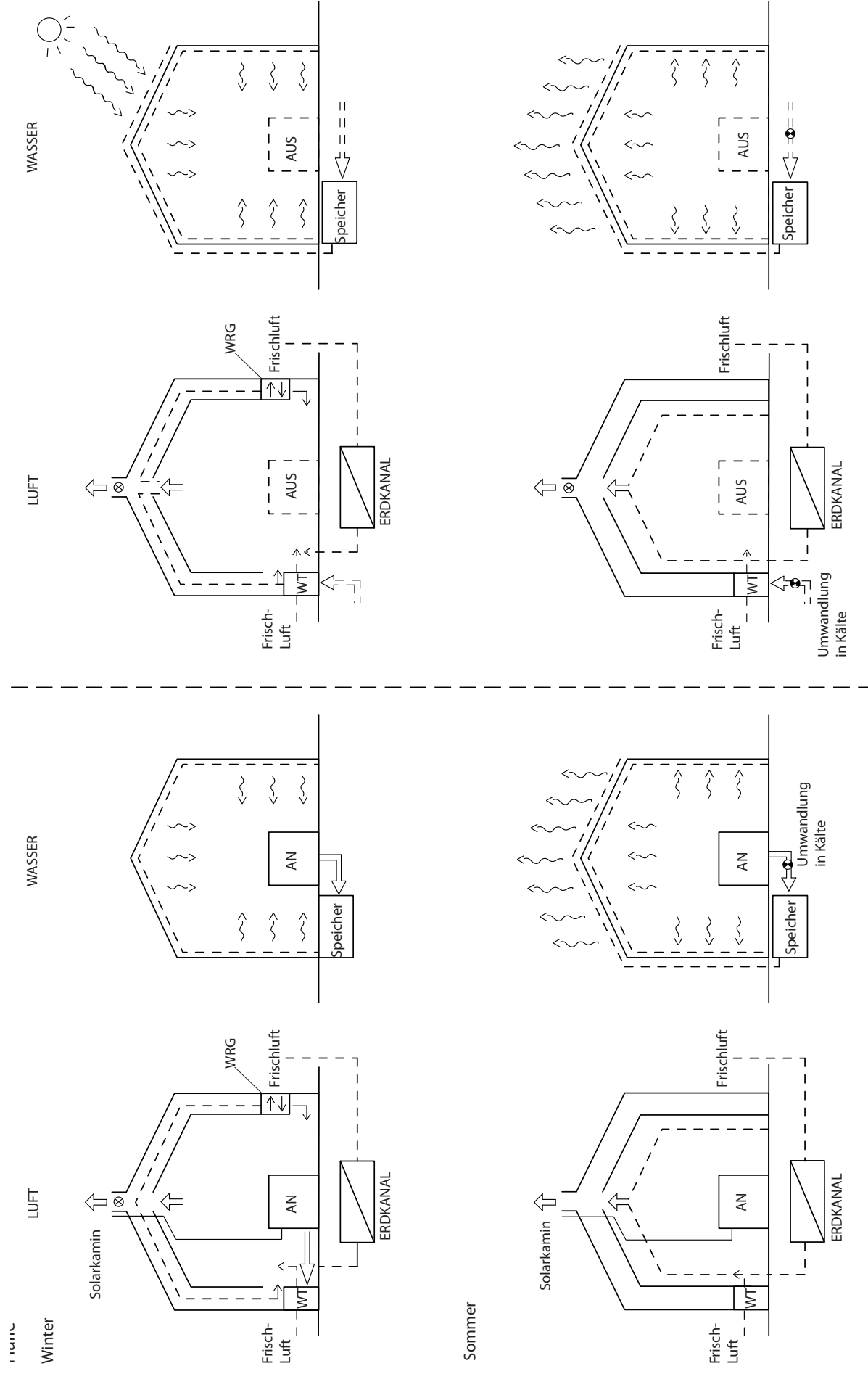
Ursprüngliches Energiekonzept der ETA-Fabrik
Stand Antragstellung

Büros
Winter



Sommer



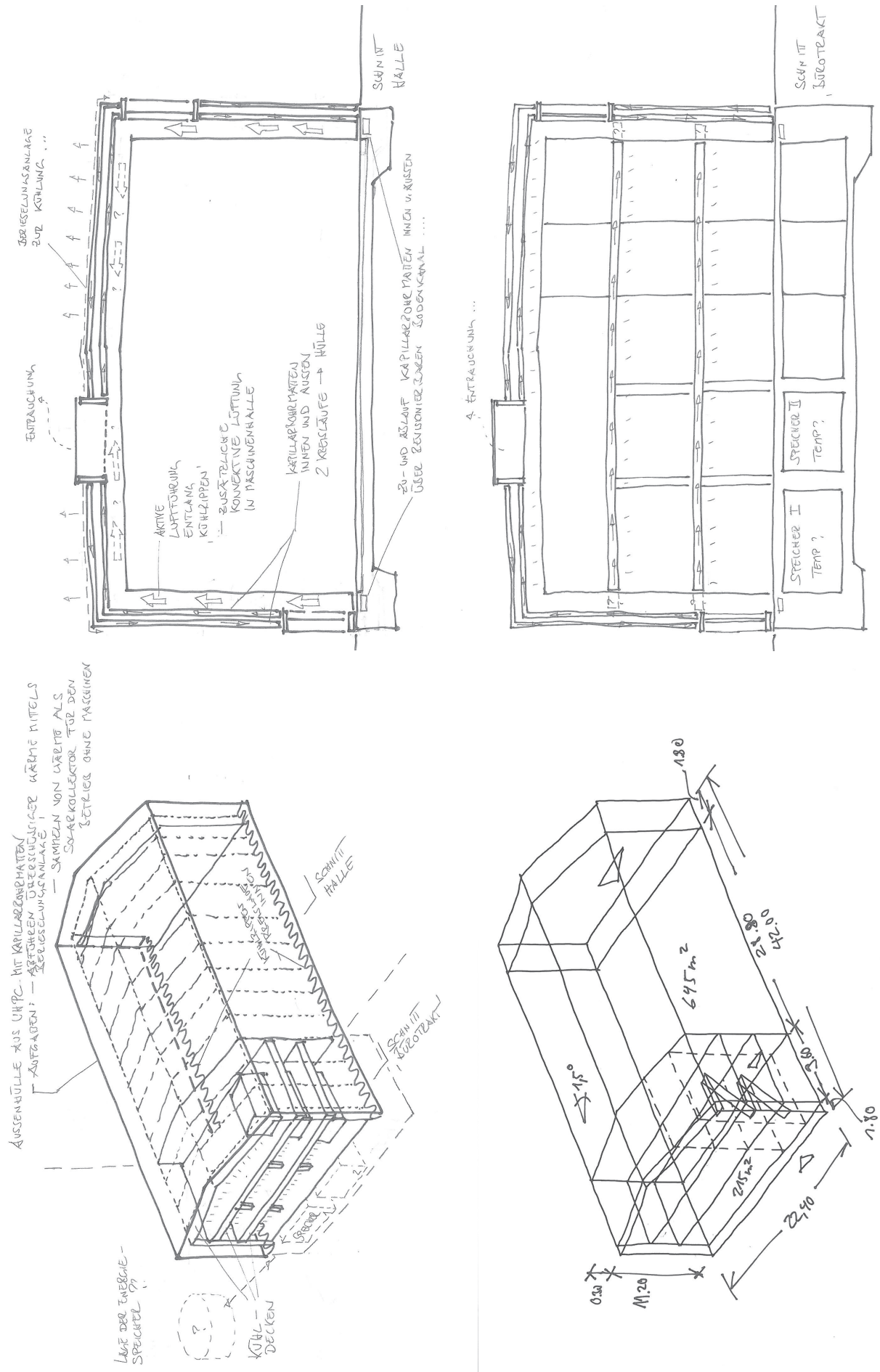


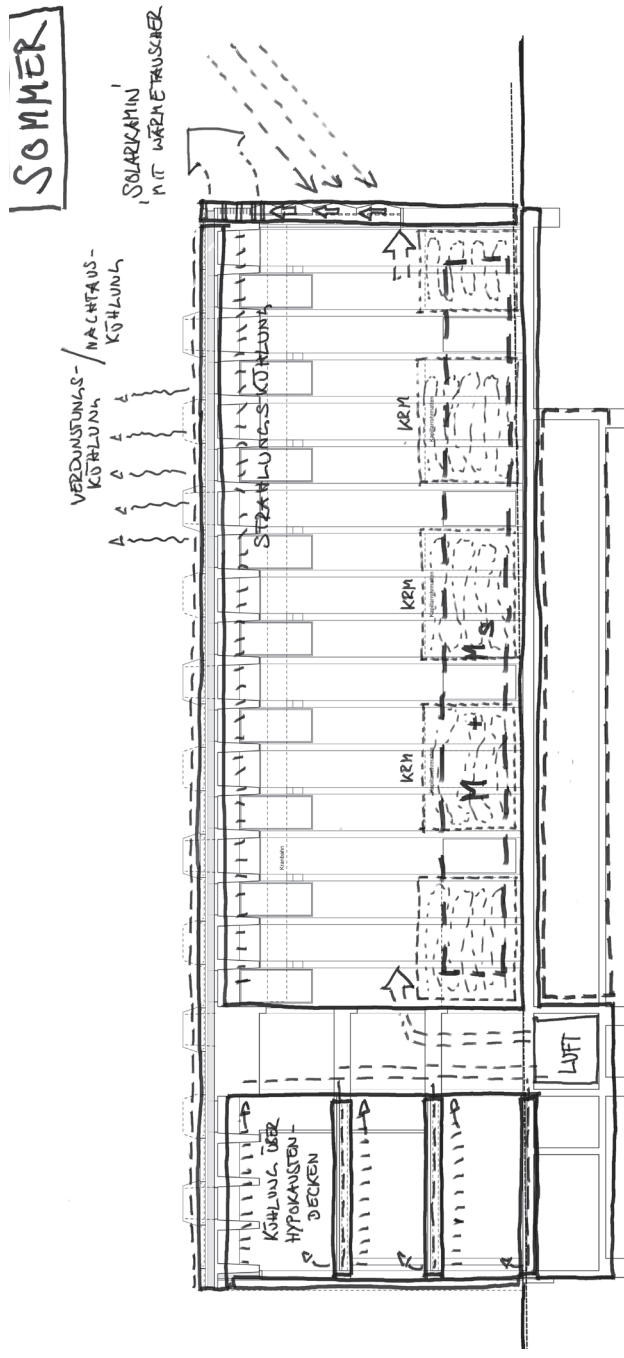
Studie zu den Energiekreisläufen der ETA-Fabrik im Sommer- und Winter-, sowie im Forschungs- bzw. Industriebetrieb

Systeme	System-komponenten	Industriebetrieb (Maschinen AN)		Forschungsbetrieb (Maschinen AUS)		weitere notwendige Systemkomponenten	Umsetzung / Bewertung
		Winter	Sommer	Winter	Sommer		
Wasser	KaRoMa (Aussenhülle-Wand)	nicht notwendig	Strahlungskühlung	nicht notwendig	Nachtauskühlung durch Strahlungskühlung	Pumpe	
	KaRoMa (Aussenhülle-Dach)	nicht notwendig	Strahlungskühlung / optional Verdunstungskühlung	Solar Kollektor in Verbindung mit Wärmepumpe	Nachtauskühlung durch Strahlungskühlung	Verdunstungsanlage, Pumpe, Wärmepumpe	
	KaRoMa (Innenflächen-Wand)	Strahlungswärme / notwendig?	Strahlungskühlung	Strahlungswärme	Strahlungskühlung	Pumpe	
	KaRoMa (Innenflächen-Decke)	Strahlungswärme / notwendig?	Strahlungskühlung	Strahlungswärme	Strahlungskühlung	Pumpe	
	Verrieselungsanlage	nicht notwendig	funktioniert ohne KaRoMa in der Aussenhülle	nicht notwendig	notwendig?	Pumpe	
	Anlage zur Verdunstungskühlung	nicht notwendig	optional	nicht notwendig	notwendig?	Pumpe	
	thermische Aktivierung der Decken (Büro)	Strahlungswärme	Strahlungskühlung	Strahlungswärme	Strahlungskühlung	Pumpe / in Kombination mit Hohlraumböden zur Leitungsführung	
	alternativ thermische Aktivierung der Böden (Büro)	Strahlungswärme	Strahlungskühlung	Strahlungswärme	Strahlungskühlung	Pumpe / in Kombination mit abgehängten Decken zur Leitungsführung	
	Strahlungsgewinne über 'Energiegärten' Südfassade	Strahlungswärme / notwendig?	nicht notwendig	Strahlungswärme	nicht notwendig		
		Vortemperierung der Zuluft	Vortemperierung der Zuluft	Vortemperierung der Zuluft	Vortemperierung der Zuluft		
Luft	alternativ Wand-Decken Kanal (entlang thermisch aktivierter Innenfläche)	Vortemperierung der Zuluft	Vortemperierung der Zuluft	-	-	Gebälse / Schacht entlang KaRoMa an Innenfläche	
	Solkamin (Südfassade)	Abluft Aktivierung über Prozesswärme bei fehlendem solaren Eintrag	Abluft zusätzliche Aktivierung über Prozesswärme zum Betrieb für die Nachtauskühlung	Abluft (möglich in Kombination mit einer WRG??)	Abluft	zusätzliches Gebälse als Backup bei Inversionswetterlage	
	Solar erwärmte Luft (Südfassade)	nicht notwendig	nicht notwendig	Zuluft	nicht notwendig	zusätzliches Gebälse notwendig	
	Wärmetauscher (Luft/Wasser)	Betrieb über Prozesswärme	Betrieb über Absorptions-kältemaschine	Betrieb über BHKW/ Fernwärme	Betrieb über BHKW/ Fernwärme	Pumpe	
	Wärmerückgewinnung (Luft/Luft)	Zuluft	nicht notwendig	Zuluft	nicht notwendig		
	Umwälzung	nur möglich, wenn vorgeschriebene Luftwechselrate nicht zu groß ist	nicht notwendig	sinnvoll	nicht notwendig		
	Hypokaustendecken (Büro)	zur Luftführung Ab- und Zuluft	zur Luftführung Ab- und Zuluft	zur Luftführung Ab- und Zuluft	zur Luftführung Ab- und Zuluft	Vortemperierung mittels Wärmetauscher bzw Wärmerückgewinnung	
	Solkamin (Dachfläche Büro)	Abluft Aktivierung über Prozesswärme bei fehlendem solaren Eintrag	Abluft zusätzliche Aktivierung über Prozesswärme zum Betrieb für die Nachtauskühlung	Abluft (möglich in Kombination mit einer WRG??)	Abluft		
Energiequellen	Prozesswärme BHKW						
Speichersysteme	Fernwärmeanschluss						
	...						
	...						

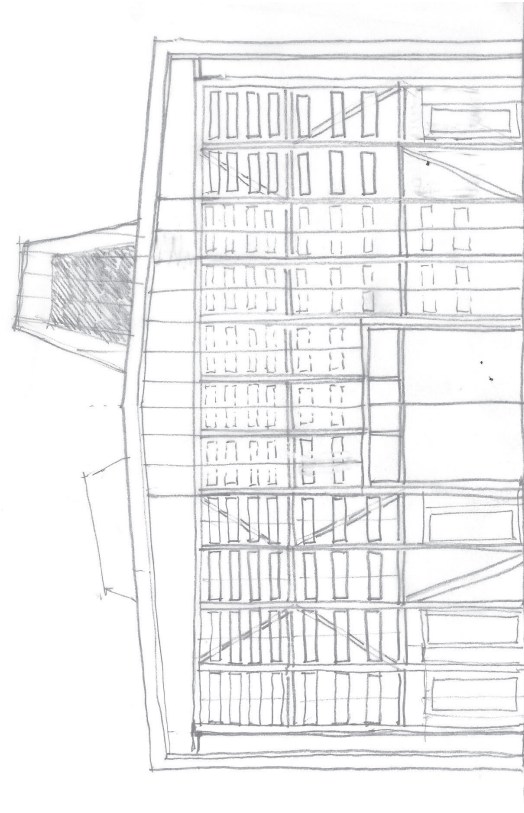
Tabelle zur Erläuterung der Piktogramme

ENTWURFS-CHRONOLOGIE

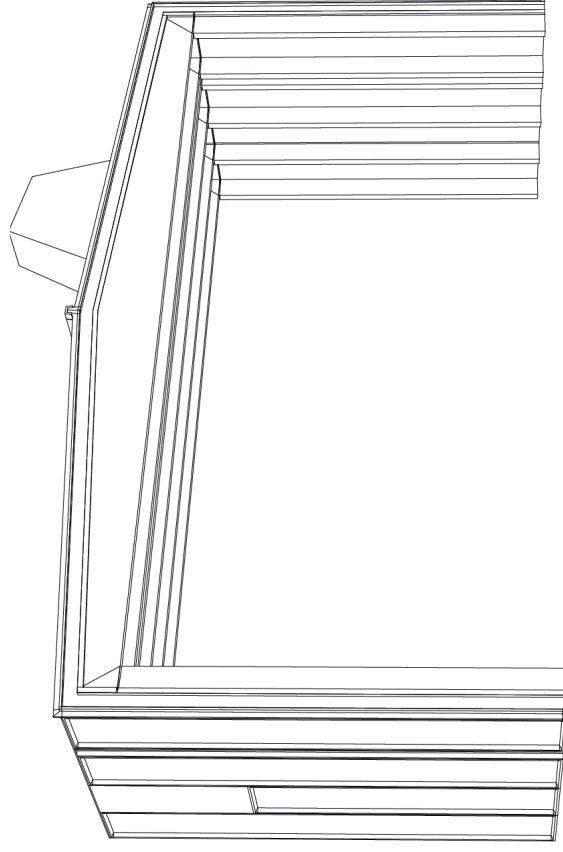




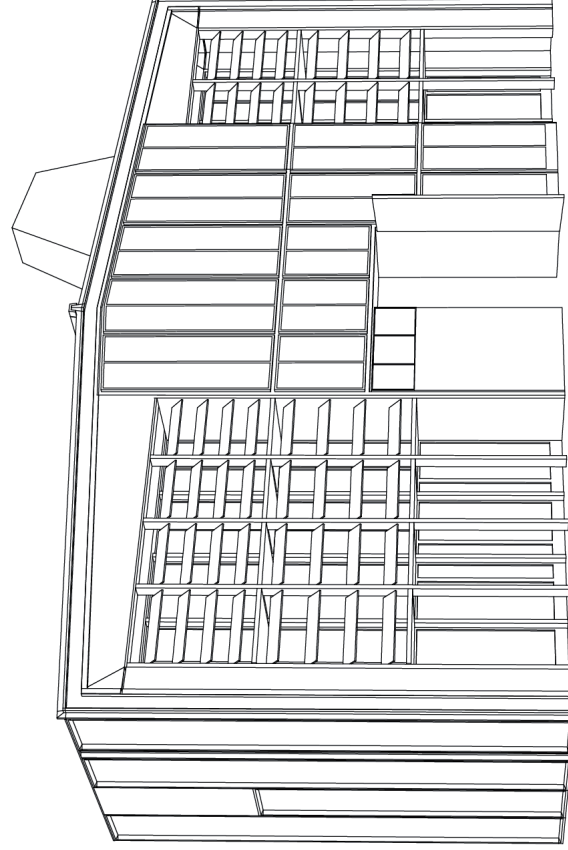
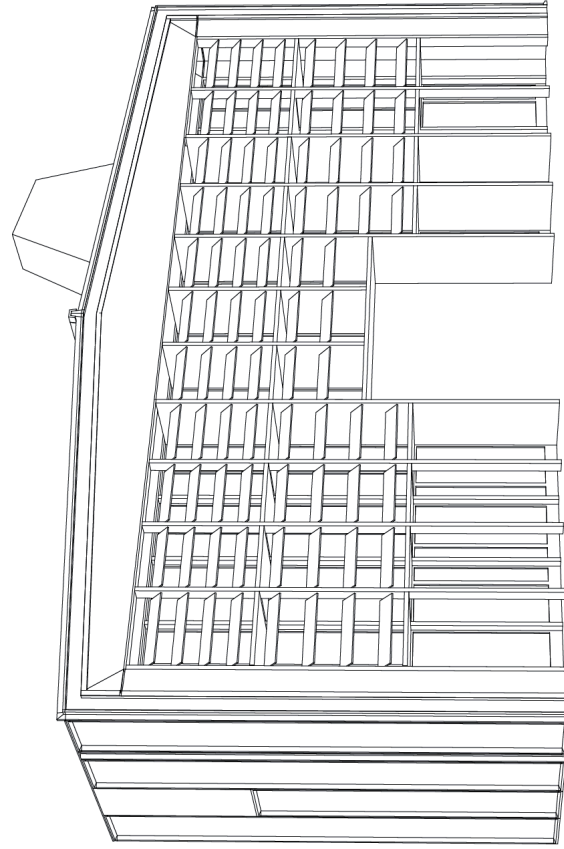
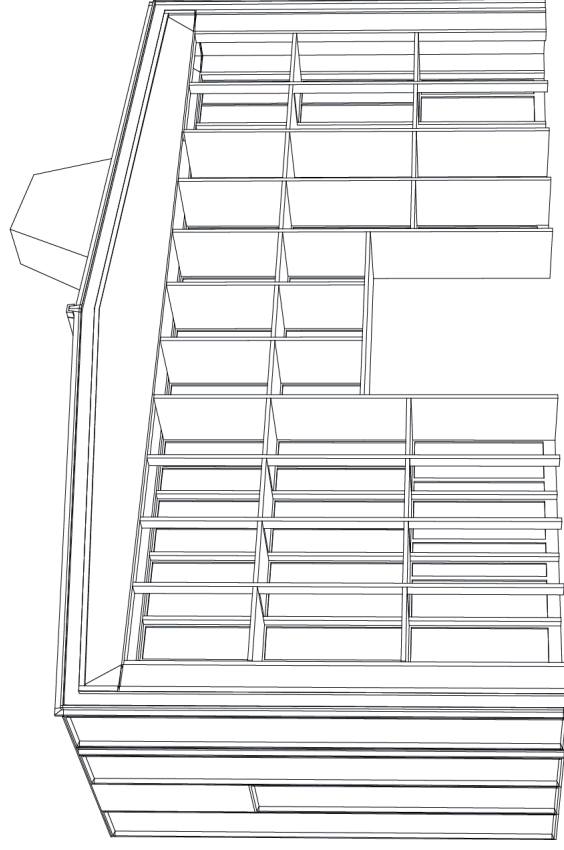
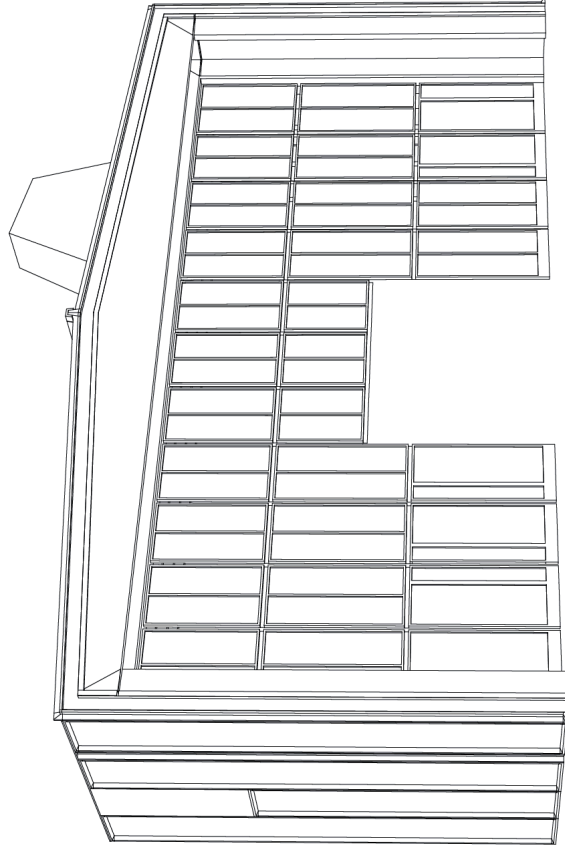
Längsschnitt mit Solarkamin



Skizze zu Solarkamin



Studie zu den Funktionsschichten des Solarkamins



Fotodokumentation

*Alle Bildrechte der folgenden Fotodokumentation liegen bei Eibe Sönneken, Darmstadt

FOTODOKUMENTATION



FOTODOKUMENTATION



FOTODOKUMENTATION



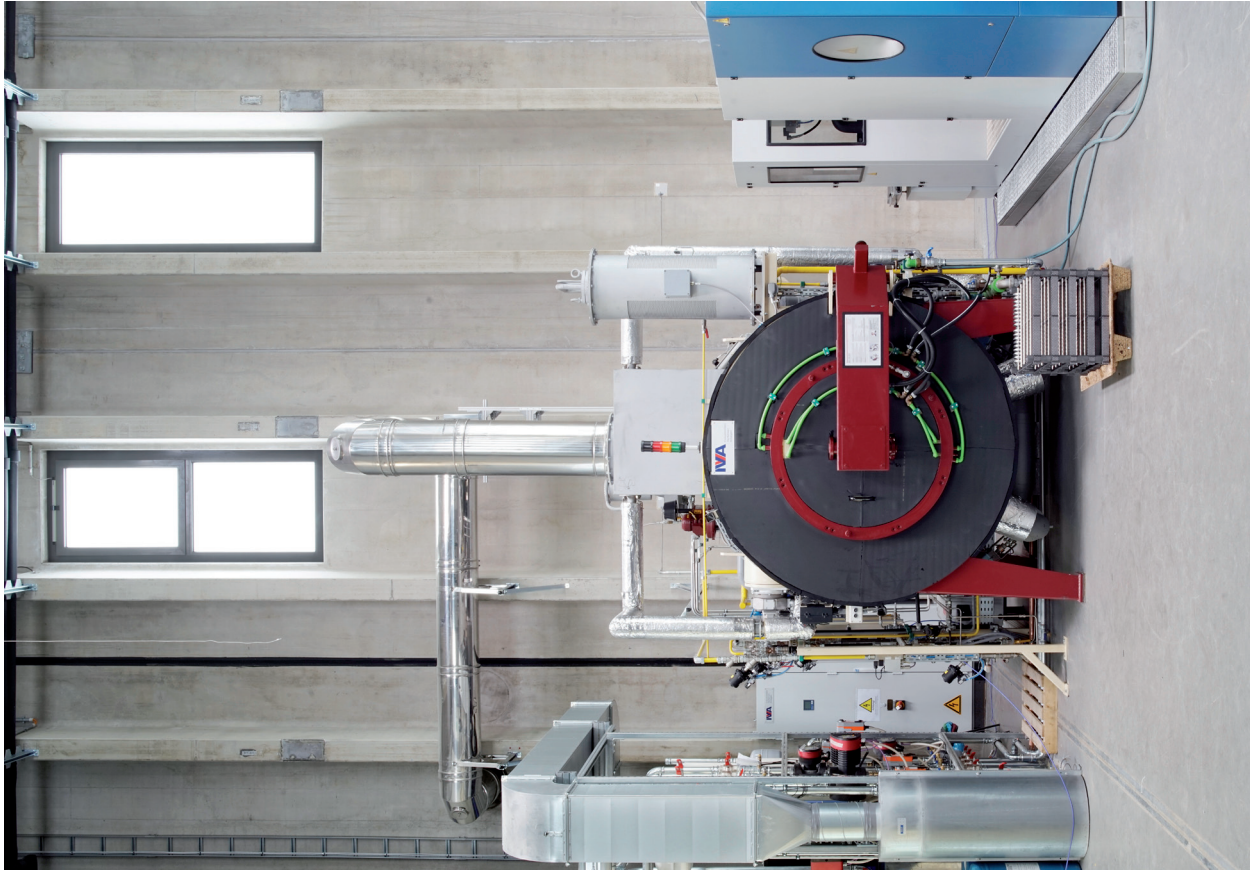
FOTODOKUMENTATION



FOTODOKUMENTATION



FOTODOKUMENTATION



FOTODOKUMENTATION



FOTODOKUMENTATION



FOTODOKUMENTATION



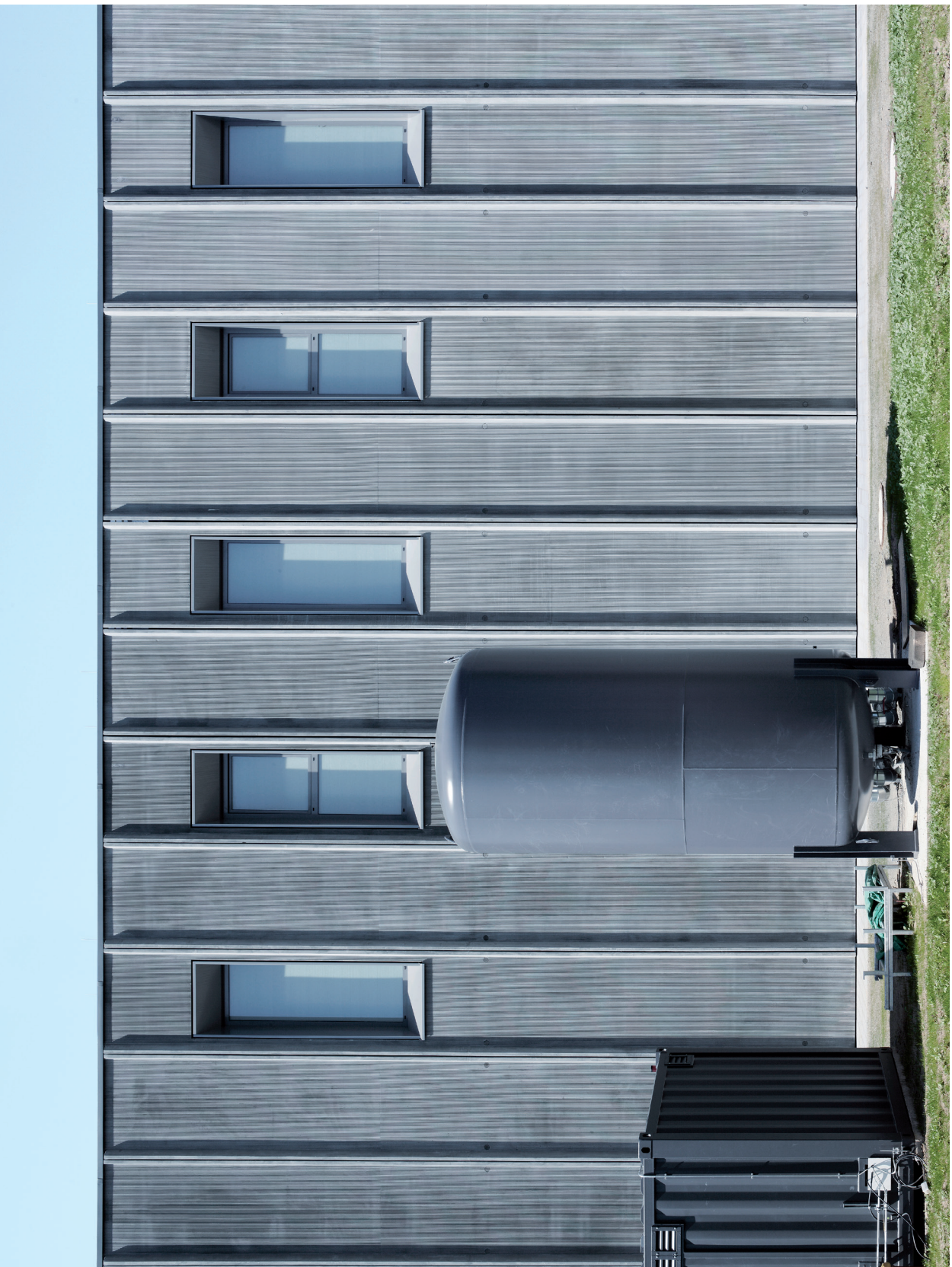
FOTODOKUMENTATION



FOTODOKUMENTATION



FOTODOKUMENTATION



FOTODOKUMENTATION



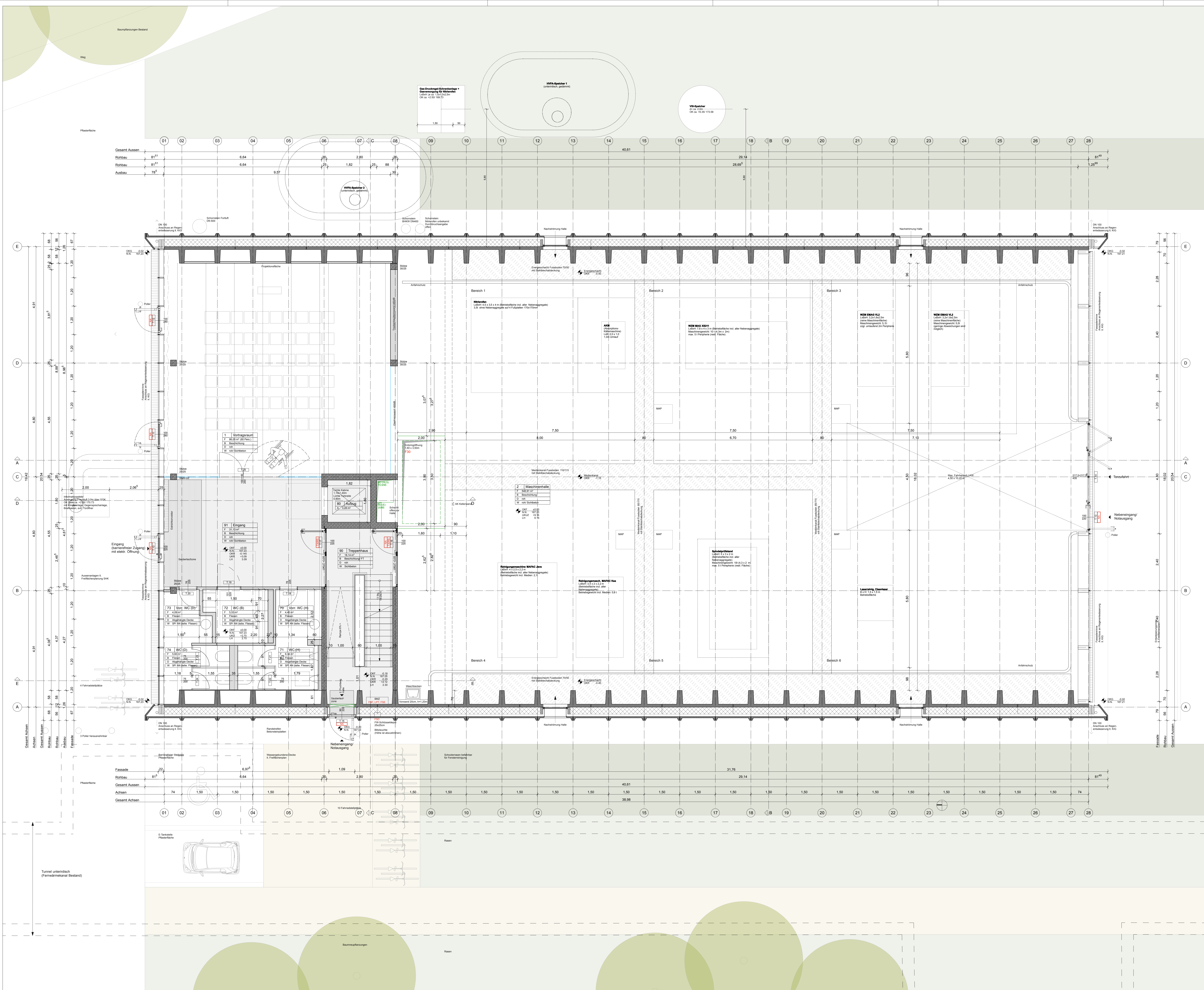
FOTODOKUMENTATION



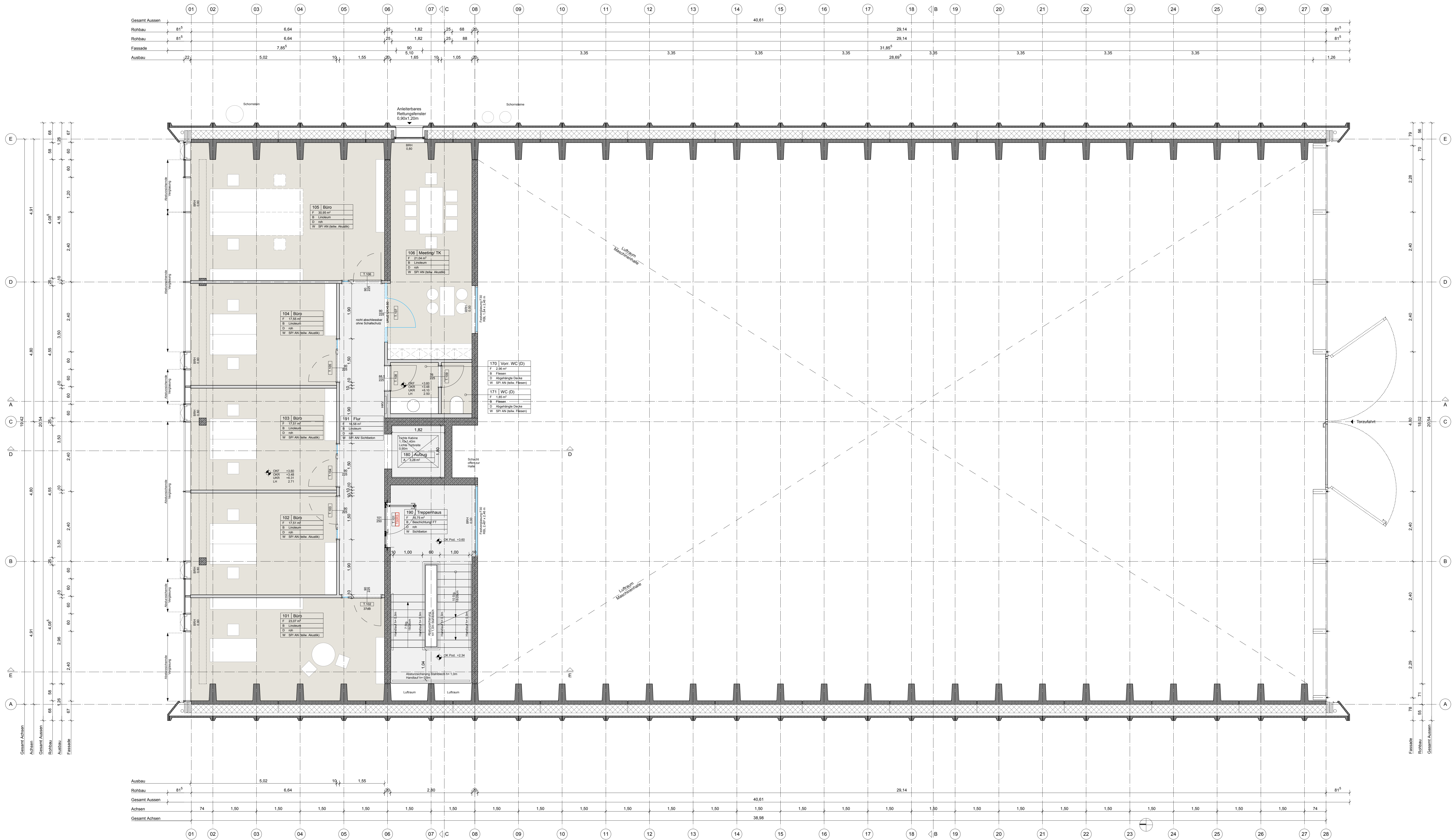
FOTODOKUMENTATION



Werkpläne

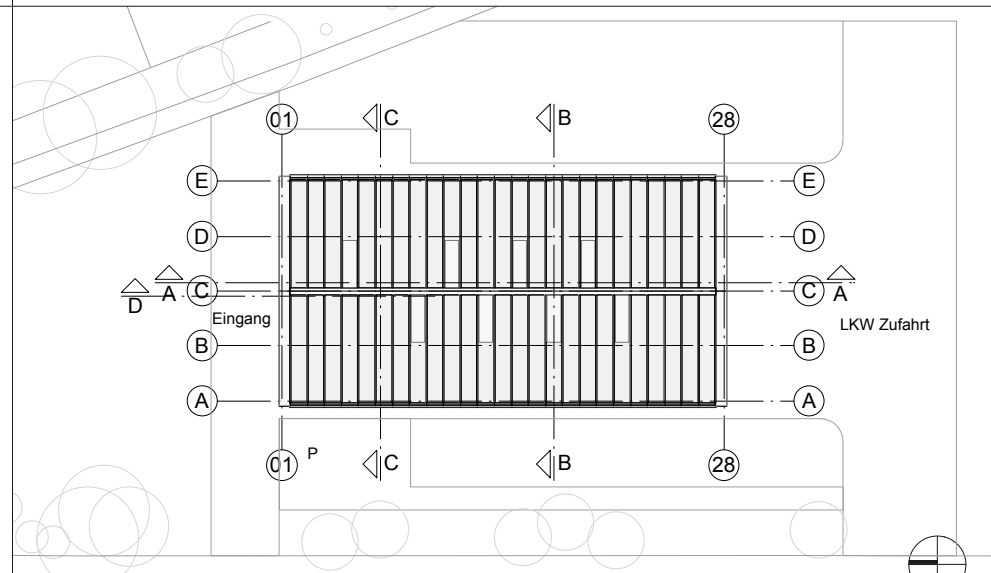


Baupf. für ETA Hochbauanl. ± 0,00 ± 107,20m über N.N.					

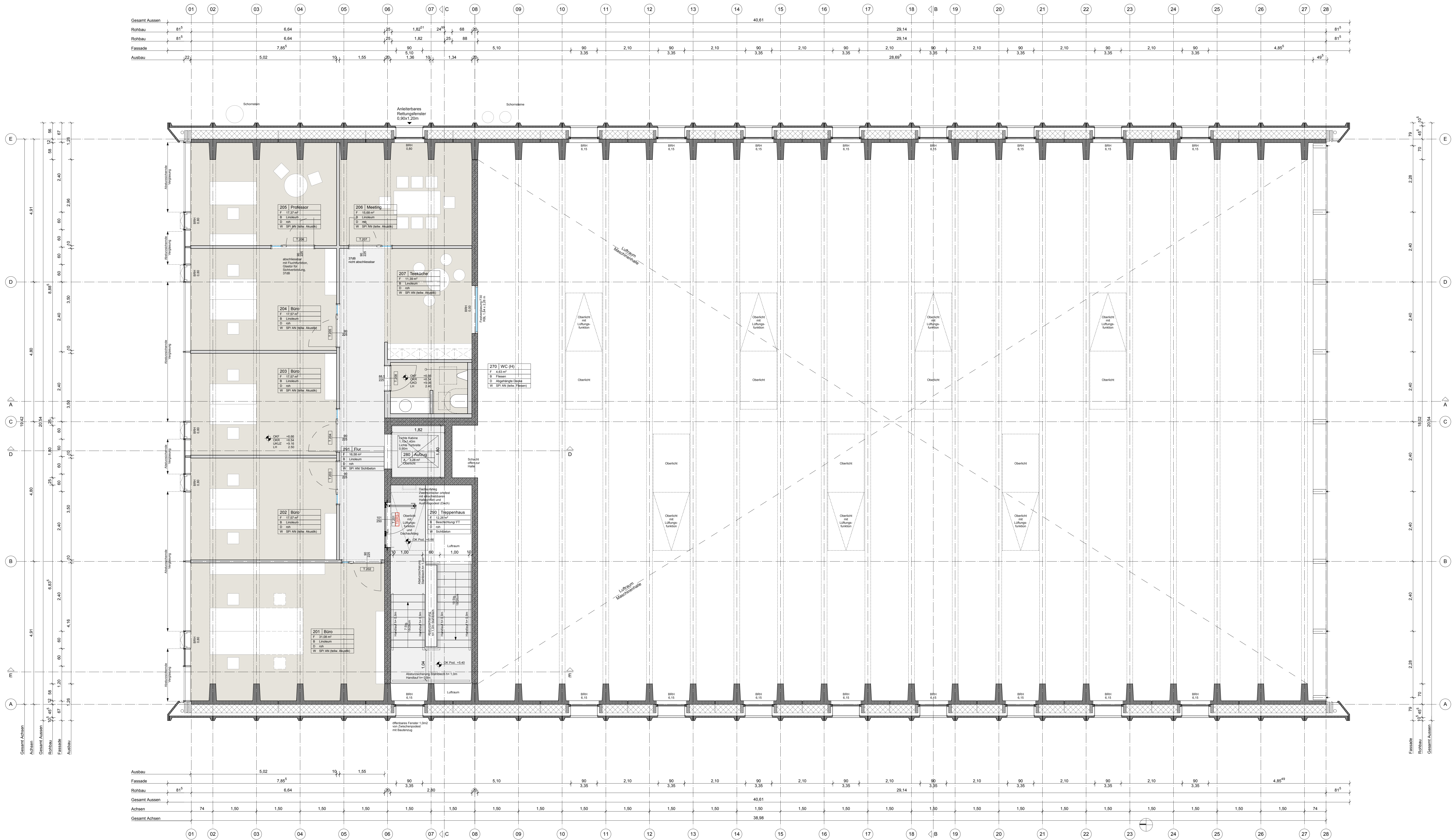


Bezug für alle Höhenangaben: ± 0.00 = 167.23m üNN

0	WP1 Hochbau an Planungsbeteiligte						28.02.14	001	
INDEX	ÄNDERUNGEN/ ERGÄNZUNGEN						DATUM	NAME	
	PLAN-NR.	INDEX	DATUM	PLAN-NR.				MASSSTAB	
	G-01	0	28.02.14	A5-3111-G-01_00_140228				1:50	
PROJEKT:	Neubau ETA Fabrik						OBJEKTRNR.	TU	
							3111		
BEZEICHNUNG:	Grundriss 1.OG						PLANGRÖSSE	84.1 x 118.9 cm	
							ERSTELLT	LPN	
							FACHSPARTE	5	
							Hochbau		

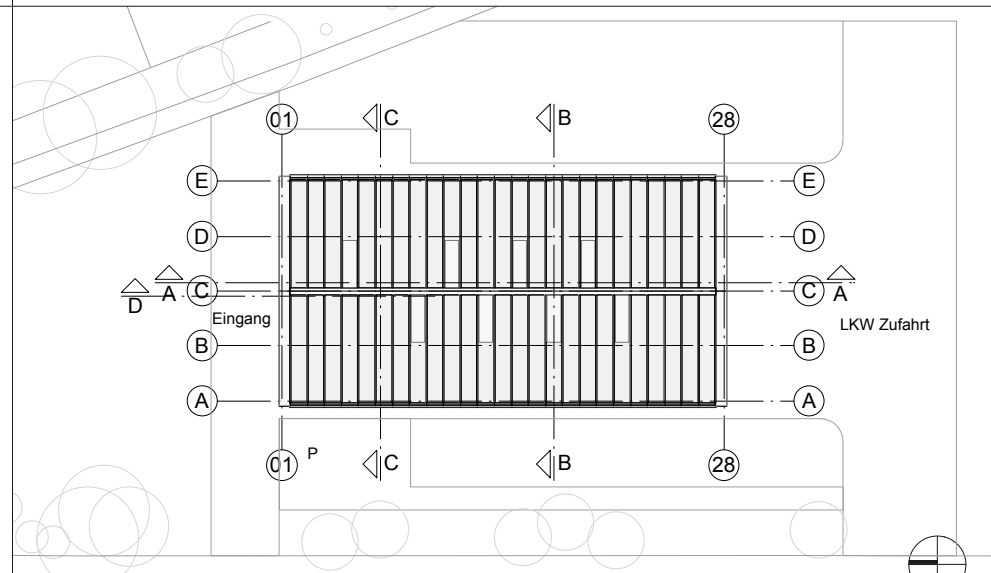


BAUHERR:	TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT Technische Universität Darmstadt Dez. V Rundelstraße 10 64283 Darmstadt	TEL: 06151 / 16 70913 FAX: 06151 / 164698	UNTERSCHRIFT:
ARCHitekten:	DIETZ + JOPPIEN ARCHITEKTEN AG Schaumarkt 69 60596 Frankfurt am Main	TEL: 069 / 952 449 - 0 FAX: 069 / 952 449 - 80	UNTERSCHRIFT:
FACHPLANER HAUSTECHNIK:	Kruse Ingenieurgesellschaft mbH & Co. KG Hornsteig 24 58119 Braunschweig	TEL: 0531 / 884591 FAX: 0531 / 884596	UNTERSCHRIFT:
FACHPLANER STRUKTUR:	osd - office for structural design Guttedorferstrasse 96 60329 Frankfurt	TEL: 069 / 2722170 FAX: 069 / 27221720	UNTERSCHRIFT:
FACHPLANER BRANDSCHUTZ:	IBKS Kleinhofen + Schulenberg Bessunger Straße 88A 64285 Darmstadt	TEL: 06151 / 48870 FAX: 06151 / 488740	UNTERSCHRIFT:

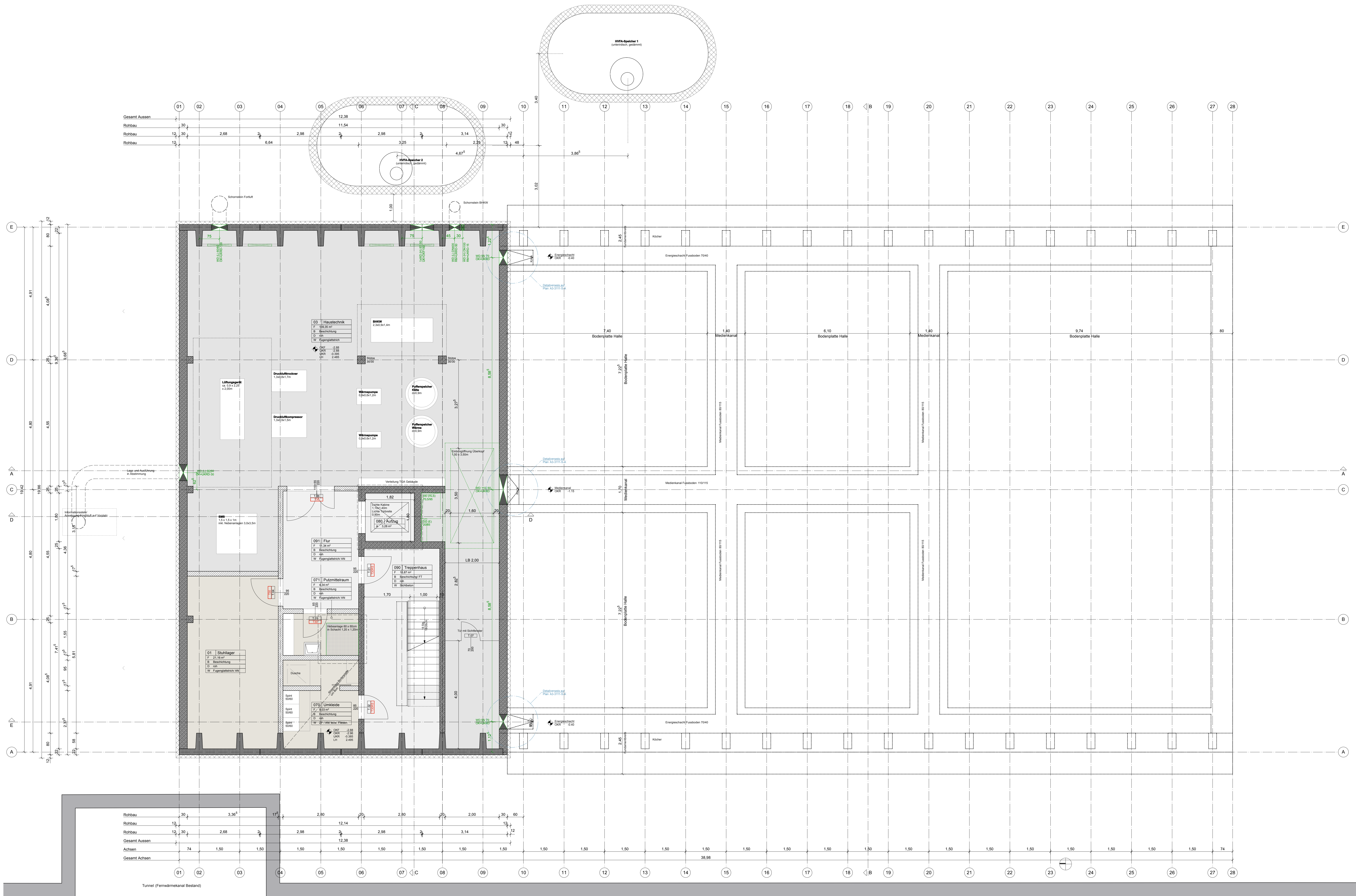


Bauzug für alle Höhenangaben: ± 0.00 = 167.23m üNN

0	WP1 Hochbau an Planungsbeteiligte			28.02.14	dbi	
INDEX	ÄNDERUNGEN/ ERGÄNZUNGEN				DATUM	NAME
PLAN-NR.	INDEX	DATUM	PLAN-NR.	MASSSTAB		
G-02	0	28.02.14	A5-3111-G-02_00_140228	1:50		
PROJEKT:	Neubau ETA Fabrik				OBJEKT-NR. TU	3111
BEZEICHNUNG:	Grundriss 2.OG				PLANGRÖSSE	84.1 x 118.9 cm
					FACHSPARTE	LPH 5
					Hochbau	5

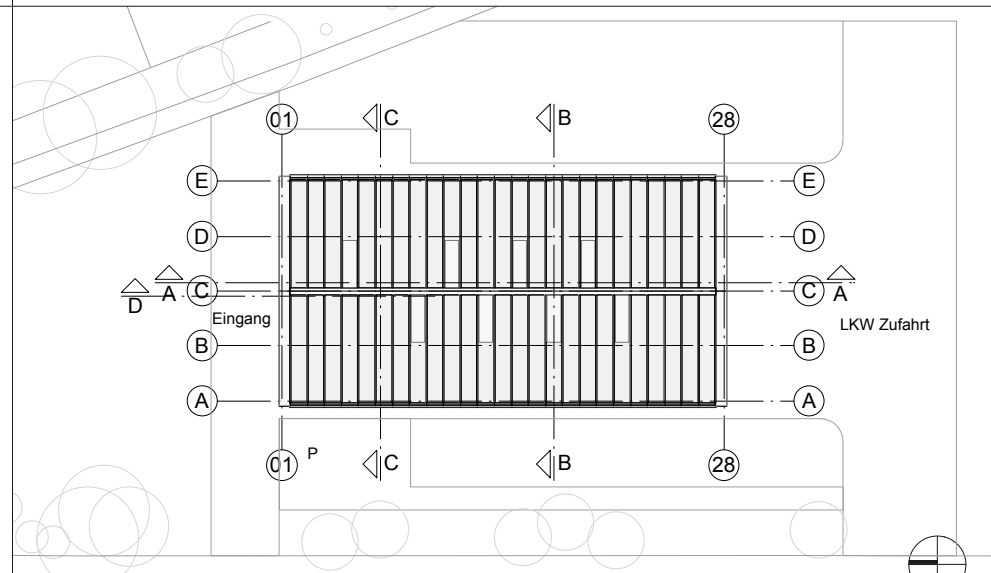


BAUHERR:	TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT Technische Universität Darmstadt Dez. V Rundelstraße 10 64283 Darmstadt	TEL: 06151 / 16 70913 FAX: 06151 / 164699	UNTERSCHRIFT:
ARCHITEKTEN:	DIETZ + JOPPIEN ARCHITEKTEN AG Schaumarkt 69 60596 Frankfurt am Main	TEL: 069 / 952 449 - 60 FAX: 069 / 952 449 - 60	UNTERSCHRIFT:
FACHPLANER HAUSTECHNIK:	Kruse Ingenieurgesellschaft mbH & Co. KG Hohensteig 24 38118 Braunschweig	TEL: 0531 / 884591 FAX: 0531 / 884596	UNTERSCHRIFT:
FACHPLANER TRIVIT:	osd - office for structural design Gutendustrasse 96 60329 Frankfurt	TEL: 069 / 2722170 FAX: 069 / 27221720	UNTERSCHRIFT:
FACHPLANER BRANDSCHUTZ:	IBKS Kleinhofen + Schulenberg Besunger Straße 88A 64285 Darmstadt	TEL: 06151 / 48670 FAX: 06151 / 486740	UNTERSCHRIFT:

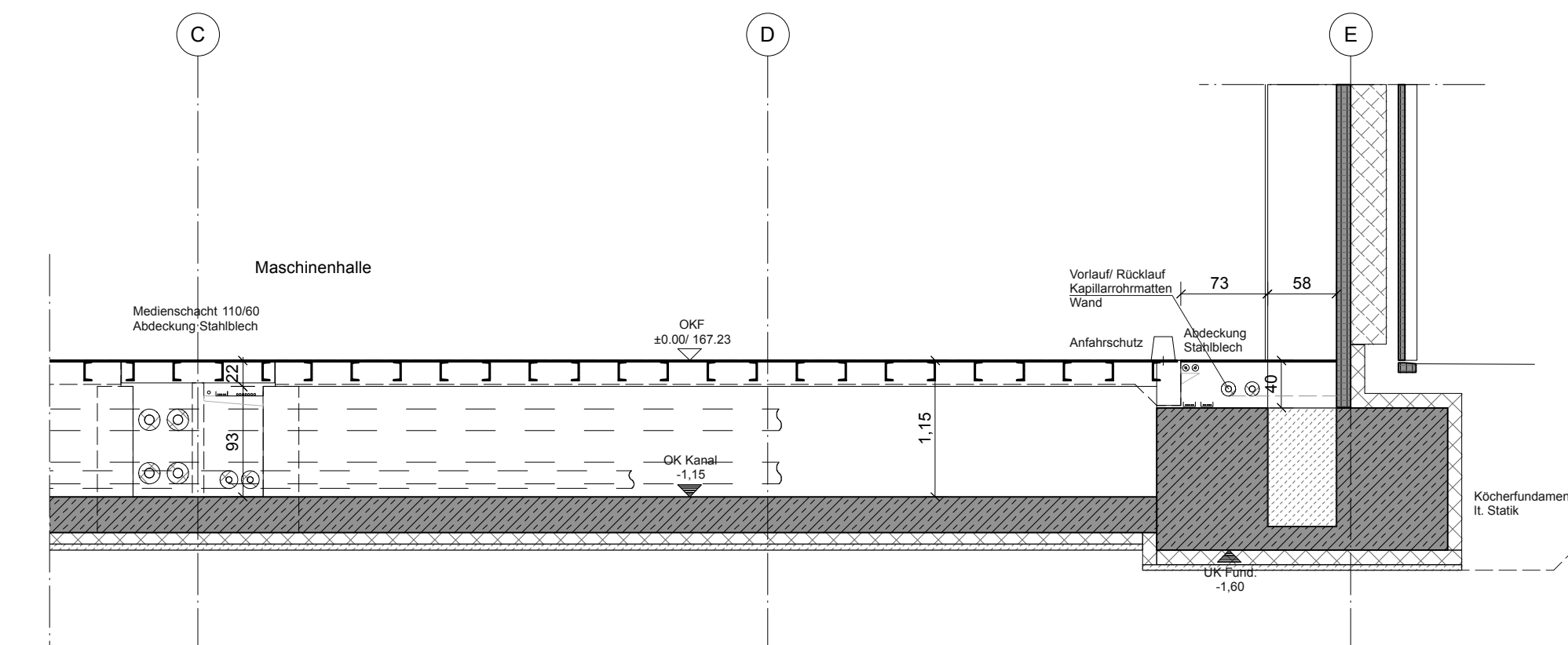


Bauzug für alle Höhenangaben: ± 0.00 = 167.23m üNN

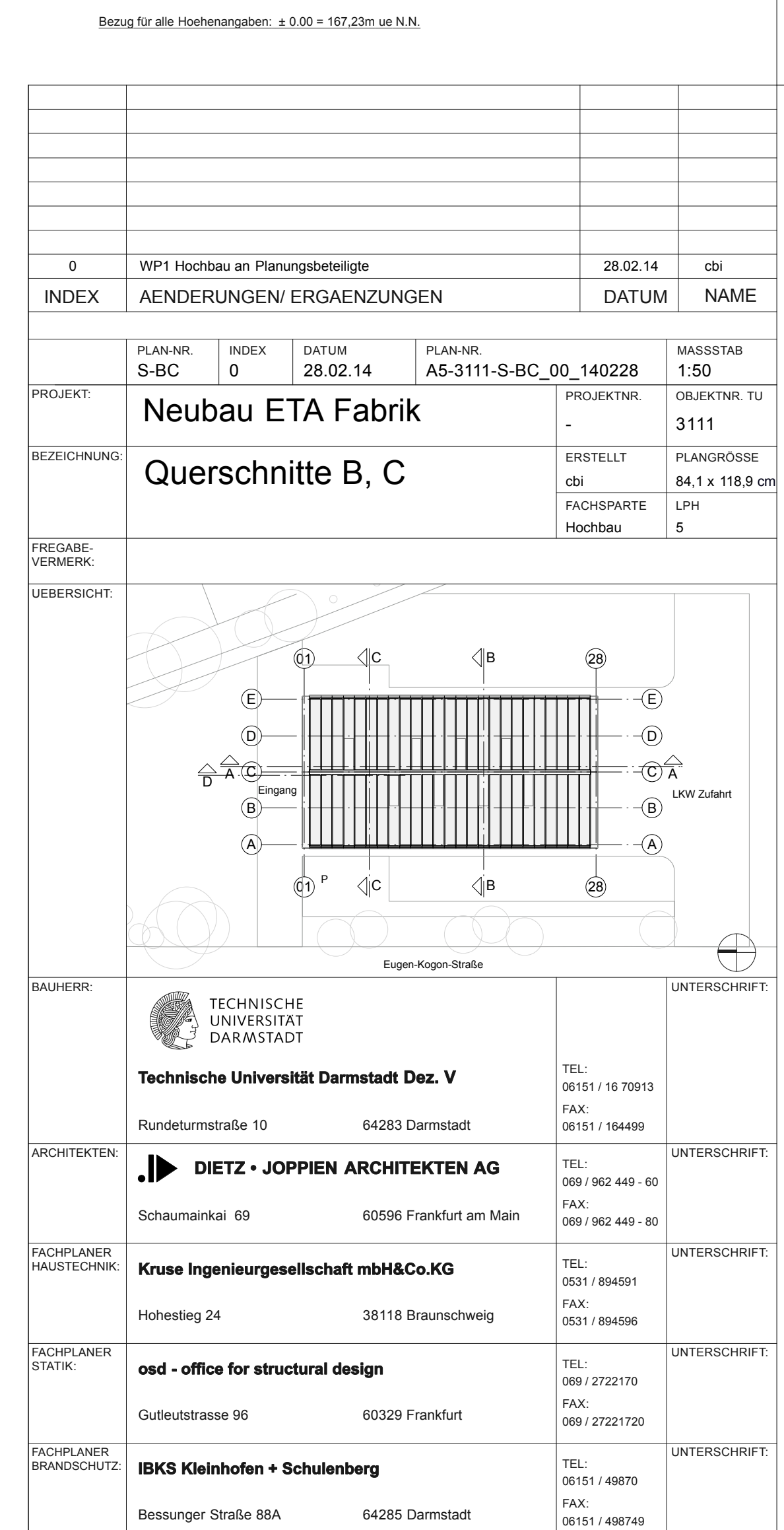
0	WP1 Hochbau an Planungsbeteiligte			28.02.14	dbi	
INDEX	ÄNDERUNGEN/ ERGÄNZUNGEN				DATUM	NAME
PLAN-NR.	INDEX	DATUM	PLAN-NR.	MASSSTAB		
G-U1	0	28.02.14	A5-3111-G-U1_00_140228	1:50		
PROJEKT:	Neubau ETA Fabrik				OBJEKT-NR.	TU
BEZEICHNUNG:	Grundriss UG				PLANGRÖSSE	3111
	ERSTELLT	FACHSPARTE		LPH		
	dbi	84.1 x 118.9 cm		5		
	Hochbau	LPH		5		

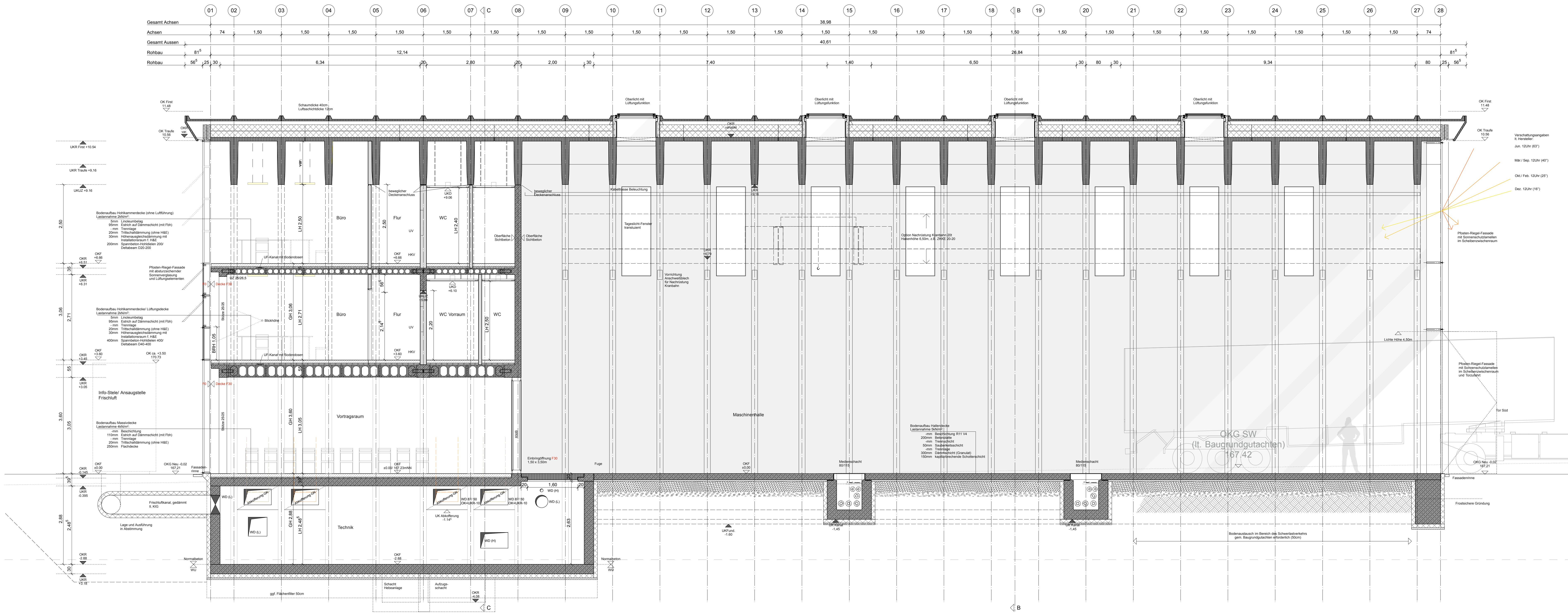


BAUHERR:	TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT Technische Universität Darmstadt Dez. V Rundturmstraße 10 64283 Darmstadt	TEL: 06151 / 16 70913 FAX: 06151 / 164695	UNTERSCHRIFT:
ARCHITEKTEN:	DIETZ + JOPPIEN ARCHITEKTEN AG Schaumarkt 69 60596 Frankfurt am Main	TEL: 069 / 952 449-40 FAX: 069 / 952 449-40	UNTERSCHRIFT:
FACHPLANER HAUSTECHNIK:	Kruse Ingenieurgesellschaft mbH & Co. KG Hohesiege 24 58119 Braunschweig	TEL: 0531 / 884591 FAX: 0531 / 884595	UNTERSCHRIFT:
FACHPLANER TRIVIT:	osd - office for structural design Gutendustrasse 96 60329 Frankfurt	TEL: 069 / 2722170 FAX: 069 / 2722170	UNTERSCHRIFT:
FACHPLANER BRANDSCHUTZ:	IBKS Kleinhofen + Schulenberg Bessunger Straße 88A 64285 Darmstadt	TEL: 06151 / 48870 FAX: 06151 / 488740	UNTERSCHRIFT:

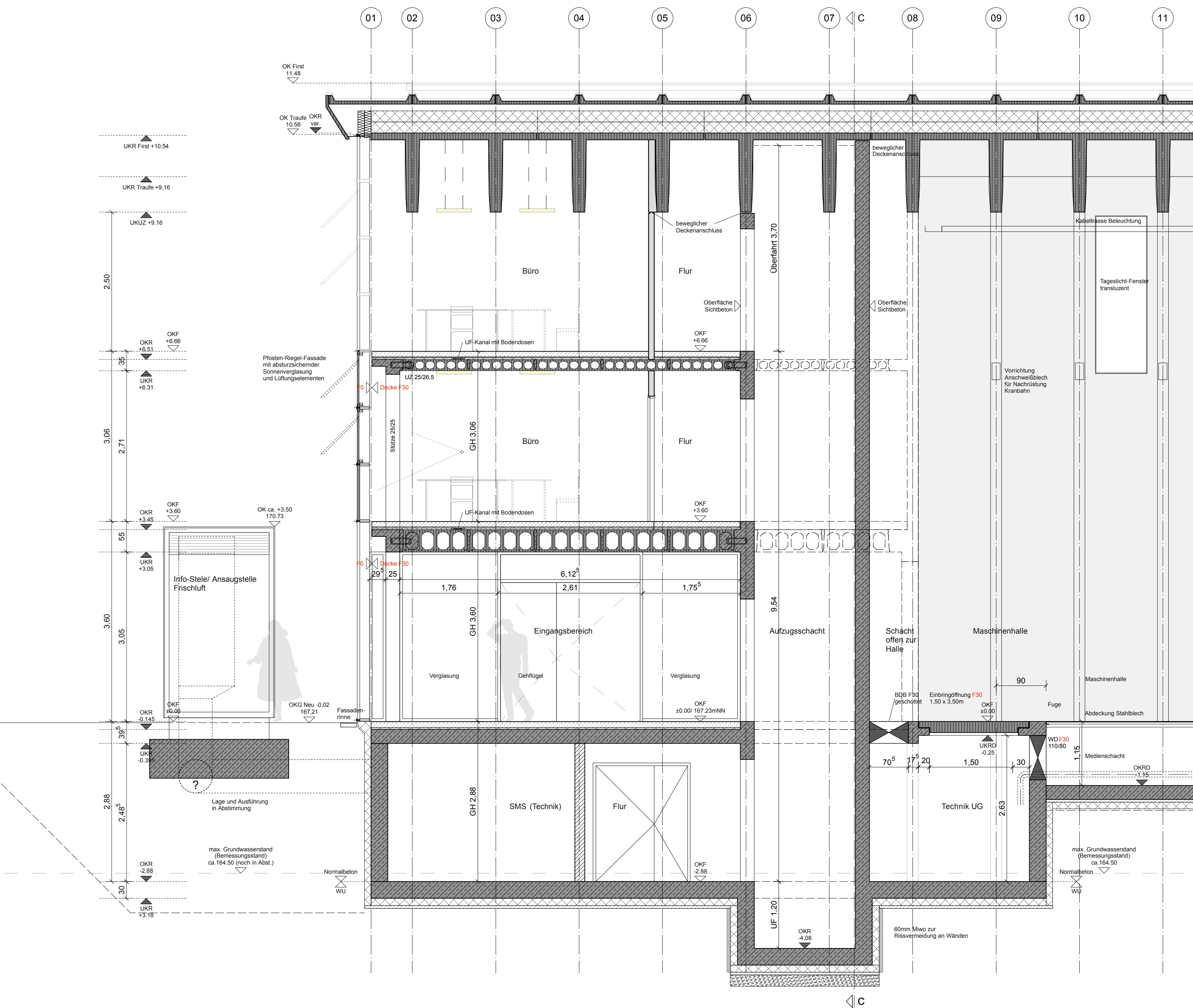


Querschnitt entlang Achse 15 (Medienkanal)

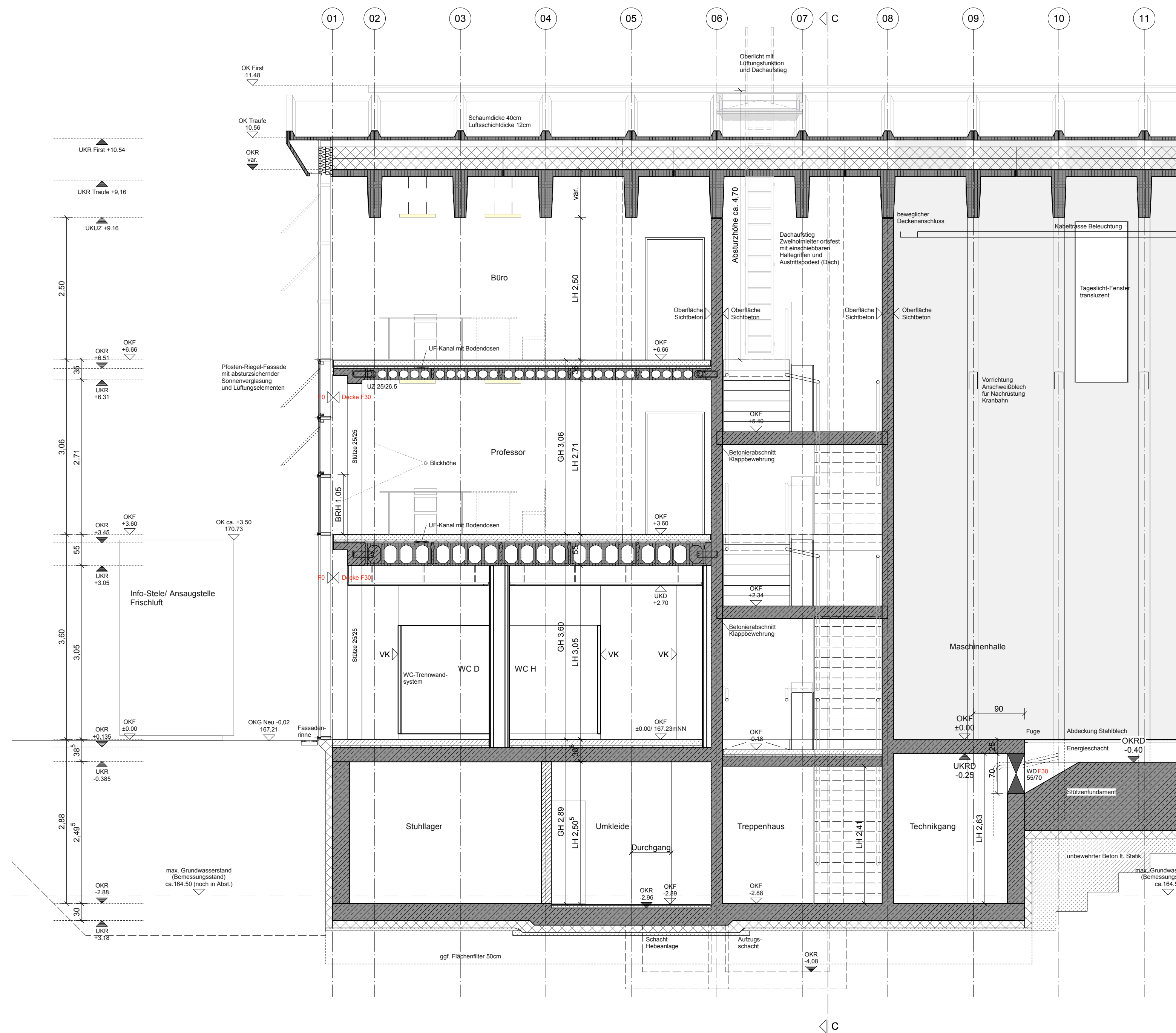




Längsschnitt A



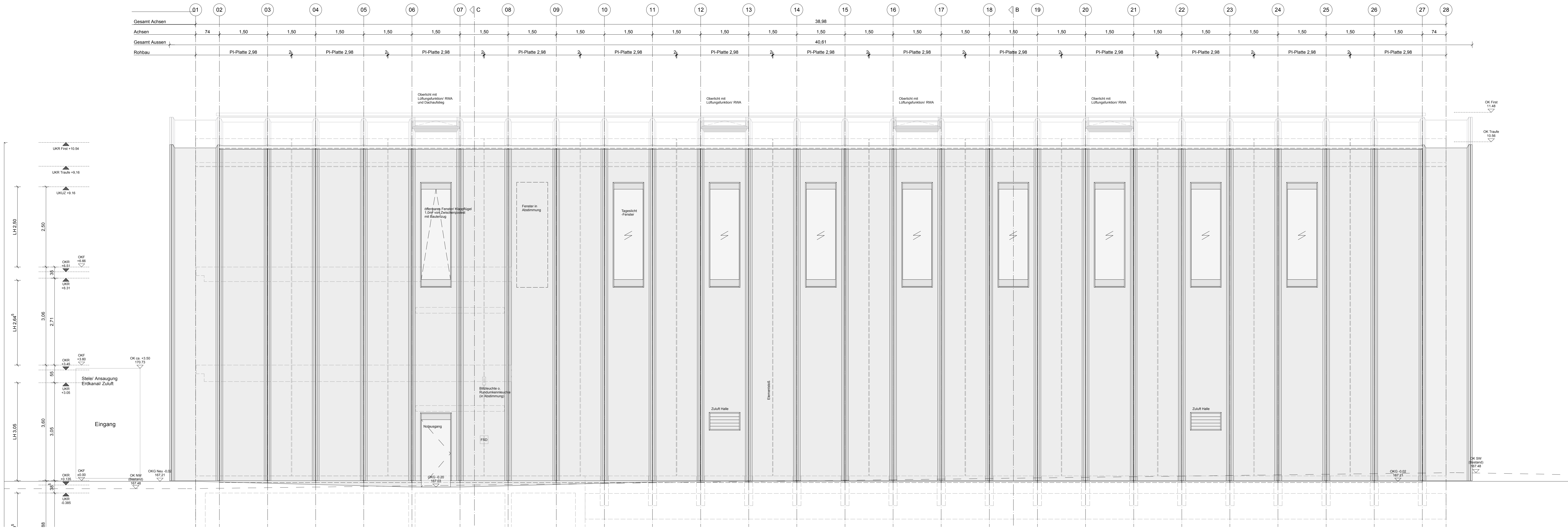
Längsschnitt D



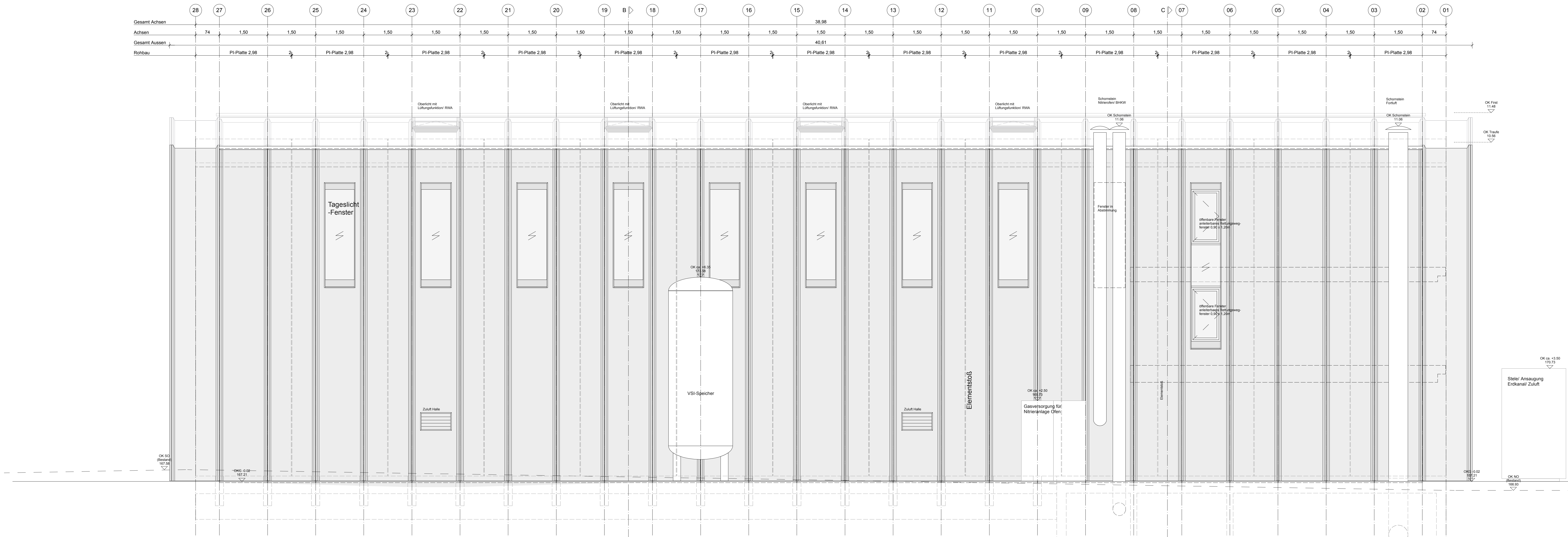
Längsschnitt E

Bauzug für alle Höhenangaben: ± 0.00 = 167.23m üNN

0	WP1 Hochbau im Planungsbeteiligte	26.02.14	01
INDEX	AENDERUNGEN/ ERGAENZUNGEN	DATUM	NAME
PLAN-NR.	INDEX	DATUM	PLAN-NR.
S-ADE	0	28.02.14	A5-3111-S-ADE_00_140228
PROJEKT:	Neubau ETA Fabrik	PROJEKTNR.	3111
BEZEICHNUNG:	Längsschnitte A, D, E	ERSTELLT	PLANGRÖSSE
		db	84,1 x 118,9 cm
		FACHSPARTE	LPH
		Hochbau	5
FREIGEABE:			
VERMERK:			
LEBENSICHT:			
Bauherr:	Technische Universität Darmstadt	Unterschrift:	
Architekten:	Dietsch + Joppien Architekten AG	Unterschrift:	
Fachplaner:	Kruse Ingenieurgesellschaft mbH & Co. KG	Unterschrift:	
Fachplaner:	osd - office for structural design	Unterschrift:	
Fachplaner:	IBKS Kleinhofen + Schulenberg	Unterschrift:	



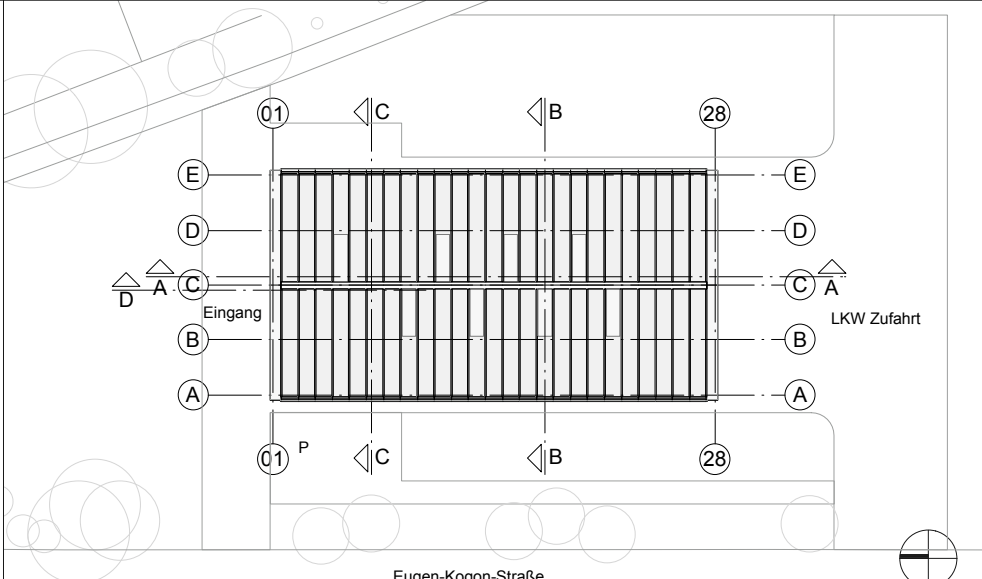
Ansicht West



Ansicht Ost

Baugr für alle Höhenangaben: ± 0.00 = 167.23m üNN

0	WP1 Hochbau am Planungsbeteiligte		28.02.14	dbi
INDEX	ÄNDERUNGEN/ ERGÄNZUNGEN		DATUM	NAME
PROJEKT:	PLAN-NR.	INDEX	DATUM	PLAN-NR.
	A-OW		28.02.14	A5-3111-A-OW_00_140228
BEZEICHNUNG:	Neubau ETA Fabrik			MASSSTAB
	Ansichten Ost/ West			1:50
	PROJEKTNR.	OBJEKTNR. TU		
	-	3111		
	ERSTELLT	PLANGRÖSSE		
	dbi	84.1 x 118.9 cm		
	FACHSPARTE	LPN		
	Hochbau	5		



BAUHERR:	 TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT	UNTERSCHRIFT:	
ARCHITECTEN:	 DIETZ + JOPPIEN ARCHITECTEN AG	UNTERSCHRIFT:	
FACHPLANER HAUSTECHNIK:	Kruse Ingenieurgesellschaft mbH & Co. KG	UNTERSCHRIFT:	
FACHPLANER STRUKTIV:	osd - office for structural design	UNTERSCHRIFT:	
FACHPLANER BRANDSCHUTZ:	IBKS Kleinhofen + Schulenberg	UNTERSCHRIFT:	
Bessunger Straße 88A		64285 Darmstadt	